

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## VZDÁLENÉ ŠKOLÍCÍ PRACOVISTĚ

REMOTE TRAINING STATION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Kučera

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2019

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Tomáš Kučera

**ID:** 164754

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## Vzdálené školící pracoviště

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s produkty firmy Schneider Electric v oblasti průmyslové automatizace se zaměřením na řídicí systémy, operátorské panely a elektrické pohony.
2. Zvolte vhodné komponenty s ohledem na požadavky budoucích školení a testů prováděných vzdáleně (skrze komunikační rozhraní Ethernet) na uvedeném pracovišti.
3. Navrhněte řešení pro sestavení vzdáleného školícího pracoviště.
4. Sestavte vzdálené školící pracoviště.
5. Ověřte jeho funkčnost a vytvořte aplikaci pro demonstraci všech jeho funkcí.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

ZEZULKA, František. Prostředky průmyslové automatizace. Brno: VUT IUM, 2004, 176 s. ISBN 80-214-2610-1.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 13.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štohl, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Oldřich Navrátil

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
*předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh a sestavení vzdáleného školícího pracoviště pro školení s produkty firmy Schneider Electric. Pracoviště slouží k seznámení s PLC, k seznámení s nastavením servopohonů a frekvenčních měničů a prezentaci služeb Machine Advisor a EcoStruxure Augmented Operator Advisor. Na začátku se věnuji seznámení s firmou a jejími produkty v oblasti průmyslové automatizace. Ve druhé kapitole vyberu komponenty pro sestavení pracoviště. Třetí kapitola je věnovaná sestavení a zapojení pracoviště. Ve čtvrté kapitole popíši programové vybavení a vzorovou aplikaci.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Vzdálený přístup, školící pracoviště, školící stanice, Schneider Electric, průmyslová automatizace, průmyslový automat, operátorský panel, frekvenční měnič, servopohon, VPN

## ABSTRACT

The purpose of the thesis is design and contruction of remote training station for training with Schneider Electric products. Its purpose is to introduce company PLCs, familirize user with configuring variable speed drives and servo drives and presenting Machine Advisor and EcoStruxure Augmented Operator Advisor online servives The begining is dedicated to introduction to company and a range of its products in the field of industrial automation. In second chapter, I select components for building training station. Third chapter is dedicated to assembly of station. In fourth chaper I describe programing of individual elements and example.

## KEYWORDS

remote access, training workplace, training station, Schneider Electric, industrial automation, PLC, HMI, VSD, variable speed drive, servo drive, VPN

KUČERA, Tomáš. *Vzdálené školící pracoviště*. Brno, 2019, 63 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Vzdálené školící pracoviště“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Radku Štohlvi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále chci poděkovat svým kolegům panu Ing. Oldřichu Navrátilovi a panu Ing. Petru Augustínovi za jejich rady a konzultace. Nakonec chci poděkovat mé přítelkyni Katce a rodině za trpělivost a oporu při studiu.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Teoretický úvod</b>	<b>11</b>
1.1 Schneider Electric . . . . .	11
1.2 Průmyslové automaty . . . . .	11
1.3 Operátorské panely . . . . .	11
1.4 Frekvenční měniče . . . . .	13
1.5 Služby v rámci trendu digitalizace . . . . .	14
1.5.1 EcoStruxure Machine Advisor . . . . .	14
1.5.2 EcoStruxure Augmented Operator Advisor . . . . .	15
1.6 Router . . . . .	18
<b>2 Výběr komponent</b>	<b>19</b>
2.1 Zadaní . . . . .	19
2.2 Obecný návrh komponent . . . . .	19
2.3 Požadavky EMA a EAOA . . . . .	21
2.4 Řídicí systém . . . . .	21
2.5 Operátorský panel . . . . .	22
2.6 Pohony . . . . .	23
2.6.1 Frekvenční měnič . . . . .	24
2.6.2 Servopohon . . . . .	24
2.7 Síťová architektura . . . . .	25
2.7.1 Výběr routeru . . . . .	25
2.8 Kamera . . . . .	27
2.9 Další komponenty . . . . .	28
2.9.1 Volba zdroje . . . . .	28
2.9.2 LED . . . . .	28
2.10 Nosná konstrukce . . . . .	29
2.11 Shrnutí . . . . .	29
<b>3 Sestavení</b>	<b>31</b>
3.1 Nosný rám . . . . .	31
3.2 Dodatečné držáky . . . . .	32
3.3 Elektroinstalace . . . . .	33
3.4 Shrnutí - Aktuální stav . . . . .	33

<b>4</b>	<b>Software a program</b>	<b>35</b>
4.1	Nastavení ethernetové sítě a vzdálené připojení . . . . .	36
4.1.1	Nastavení LAN . . . . .	37
4.1.2	NAT . . . . .	38
4.1.3	OpenVPN . . . . .	38
4.2	SoMachine . . . . .	39
4.2.1	Vizualizace . . . . .	40
4.3	Nastavení frekvenčního měniče a servo měniče . . . . .	40
4.3.1	Servoměnič Lexium 32 . . . . .	41
4.3.2	Frekvenční měnič Altivar 320 . . . . .	41
4.4	EcoStruxure Machine advisor . . . . .	42
4.4.1	Machine advisor . . . . .	42
4.4.2	NodeRED . . . . .	43
4.5	EcoStruxure Augmented Operator Advisor . . . . .	45
4.6	Webkamera . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Zhodnocení prototypu</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>51</b>
	<b>Literatura</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>56</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>CD-ROM</b>	<b>58</b>
<b>B</b>	<b>Schémata pro držáky</b>	<b>59</b>
<b>C</b>	<b>Schéma rozložení komponent na mříž</b>	<b>62</b>
<b>D</b>	<b>Schéma zapojení elektroinstalace</b>	<b>63</b>

# Seznam obrázků

1.1	Průmyslový automat M221 . . . . .	12
1.2	Operátorské panely [17] . . . . .	12
1.3	Spotřeba energie při řízení průtoku vzduchu ventilátoru regulací otáček frekvenčním měničem v porovnání s mechanickým blokováním [20]	13
1.4	Architektura EcoStruxure [22] . . . . .	14
1.5	Format Charlie (a) a Tango (b) . . . . .	15
1.6	Orientační schéma funkce EMA . . . . .	16
1.7	Ukázka aplikace EAOA . . . . .	17
2.1	Orientační schéma (E = ethernetová komunikace) . . . . .	20
2.2	Kontrolér TM241CEC24T . . . . .	22
2.3	Přídavná karta TM4ES4 slouží jako síťový switch . . . . .	22
2.4	Parametry displeje HMIDT351 [26] . . . . .	23
2.7	Router ICR-3231 . . . . .	26
2.8	Schéma zapojení IT na pracovišti . . . . .	26
2.9	Webkamera Logitech HD Pro Webcam C920 . . . . .	27
2.10	Zdroj napětí . . . . .	29
3.1	Částečně sestavené pracoviště . . . . .	31
3.2	Částečně sestavené pracoviště . . . . .	32
3.3	Aktuální stav . . . . .	34
4.1	Provázanost softwarových prvků . . . . .	35
4.2	Schéma ethernetové sítě . . . . .	36
4.3	Nastavení primární LAN sítě na routeru . . . . .	37
4.4	Tabulka nastavení NAT na routeru . . . . .	38
4.5	Nastavení OpenVPN . . . . .	39
4.6	Hlavní panel vizualizace . . . . .	40
4.7	Nastavení SoMove pro LXM32 . . . . .	41
4.8	Získaná data z PLC . . . . .	44
4.9	Stránka Config na webu EMA, obsahuje formátovací a adresovací data	45
4.10	Výsledný program v NodeREDu . . . . .	45
4.11	Hlavní scéna VSP z EAOA Builderu . . . . .	47
4.12	Ukázka streamovacího rozhraní aplikace Yawcam . . . . .	47

# Seznam tabulek

2.1	Tabulka příkonů jednotlivých zařízení . . . . .	28
2.2	Konečný seznam komponent . . . . .	30
4.1	Routovací tabulka . . . . .	36
4.2	Seznam změn v nastavení ATV320 . . . . .	42
4.3	Registrace stroje VSP do Machine Advisor . . . . .	43

# Úvod

Ve své diplomové práci se budu zabývat návrhem vzdáleného školícího pracoviště pro aplikace průmyslové automatizace, jeho sestavením a vytvořením ukázkové aplikace. Zadavatelem je mezinárodní firma Schneider Electric CZ s.r.o., která výrobu financovala a bude pracoviště využívat pro své účely. Pracoviště má svými prvky imitovat generický stroj umožní školení se softwarem pro práci se řídicími systémy (PLC), operátorskými panely a servo měniči, bude sloužit k prezentaci, marketingovým účelům a k seznámení s pomocnými službami EcoStruxure Machine Advisor a EcoStruxure Augmented Operator Advisor. Hlavní devizou bude možnost interakce s pracovištěm pomocí vzdáleného připojení skrze internet.

V úvodní kapitole je popis prvků vyskytující se na pracovišti včetně jejich účelu a využití v praxi. Součástí jsou kritéria, na základě kterých budou jednotlivé komponenty vybrány. V případě softwarových prvků popíši jejich požadavky na funkčnost.

Následující druhou kapitolu věnuji výběru technického vybavení. Na základě vhodných kritérií a porovnání vyberu vhodné součástky pro sestavení a tyto součástky popíši.

Třetí kapitola věnující se sestavení pracoviště, pojednává o mechanickém provedení rámu, osazení komponent a jejich zapojení.

Závěr práce je věnovaný použitému softwaru a funkcím vzdáleného pracoviště. Součástí je popis vzorového programu pro ovládání motorů, NodeRED aplikace pro zasílání provozních dat na cloud a nastavení routeru pro zabezpečené připojení.

# 1 Teoretický úvod

V této kapitole krátce popíši firmu Schneider Electric CZ s.r.o., dále popíši jednotlivé prvky školícího pracoviště, jejich využití v praxi, kritéria podle kterých budou vybírány.

## 1.1 Schneider Electric

Zadavatelem práce je firma Schneider Electric CZ s.r.o., globální specialista na energetický management. Portfolio firmy je vskutku obrovské. Zahrnuje řešení pro rozvody elektrické energie, průmyslovou automatizaci, automatizaci a zabezpečení budov i domácností, energetický monitoring a úspory energie.

## 1.2 Průmyslové automaty

Průmyslové automaty neboli PLC (z angličtiny Programmable logic controller) jsou relativně malé počítače v průmyslovém provedení řízené mikroprocesorem uzpůsobeným k řešení automatizačních úloh v reálném čase - např. výrobních linek, robotických manipulátorů a obecně tam, kde je vyžadovaná velká míra spolehlivosti. [12]

Pro komunikaci je PLC vybaveno vstupními periferiemi na které jsou přivedeny signály z řízeného procesu. Signály jsou binární (digitální) nebo analogové a dle stejného rozlišení se rozlišují výstupní periferie, ke kterým jsou připojeny prvky řízeného procesu. [12]

Parametry ovlivňující výběr PLC pro aplikaci:

- Výpočetní výkon (frekvence procesoru, počet operací za minutu)
- Počet vstupních a výstupních portů
- Podporované komunikační protokoly
- Bezpečnostní funkce
- Spolehlivost

## 1.3 Operátorské panely

Operátorské panely tvoří přímé rozhraní mezi člověkem a strojem. V angličtině se nazývají HMI (Human machine interface). Umožňují uživateli interagovat se stroji nebo celými procesy. Rozhraní mezi člověkem a strojem může mít různé podoby.





Obr. 1.1: Průmyslový automat M221

Spadají sem tlačítka, spínače, signálky, zvukové zařízení, textové panely a grafické operátorské panely s tím, že operátorské panely jsou nejkomplexnější řešení. [16]

Operátorské panely jsou tvořeny dotykovou obrazovkou různých velikostí. Nejběžnější velikosti zahrnují rozsah od velmi malých panelů s uhlopříčkou 3" až po velké 14" panely. Některé panely jsou pak dále vybaveny fyzickými tlačítky.



Obr. 1.2: Operátorské panely [17]

Parametry při volbě HMI:

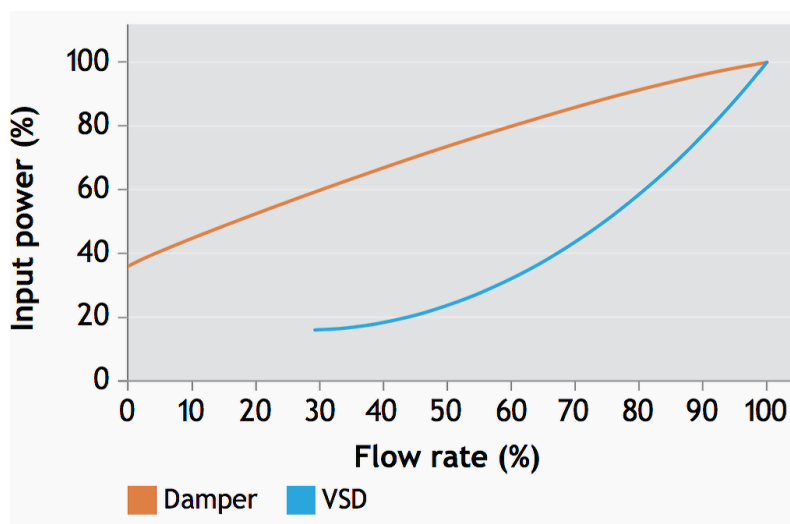
- Velikost displeje a celého panelu
- Rozlišení displeje
- Dodatečné tlačítka
- Přídavné funkce
- Komunikační rozhraní a porty

## 1.4 Frekvenční měniče

Frekvenční měniče jsou zařízení sloužící k přeměně elektrického proudu s určitou frekvencí na proud s jinou frekvencí. Jejich častým využitím je ovládání otáček asynchronního motoru. Mnoho průmyslových procesů (např. výrobní linky) musí operovat při různých rychlostech pro různé procesy. Tam, kde technologický proces vyžaduje změny průtoku (např. pumpy nebo ventilátoru), přináší aplikace frekvenčního měniče úsporu energie omezením otáček motoru oproti mechanickým alternativám omezení průtoku. [18]

Využití frekvenčního měniče k řízení motoru přináší několik výhod: [19]

- Nastavení průběhu startovacího proudu
- Menší rušení vydané do sítě
- Nižší spotřeba energie při rozběhu
- Nastavení průběhu akcelerace
- Snadná možnost změny otáček
- Možnost omezení točivého limitu
- Kontrolované brzdění
- Úspora energie
- Snadná změna směru otáčení
- Odstranění mechanických komponent (např. převodovka)



Obr. 1.3: Spotřeba energie při řízení průtoku vzduchu ventilátoru regulací otáček frekvenčním měničem v porovnání s mechanickým blokováním [20]

Průmyslově využívané frekvenční měniče podporují komunikační rozhraní pro spojení s řídicím systémem. V praxi je technologický proces často řízen tak, že v řídicí jednotce (PLC) je algoritmus pro vykonání procesu. Dle něj PLC přikáže

frekvenčnímu měniči jak má roztočit motor a s jakými parametry a podle toho měnič posílá proud do cívek motoru, aby dosáhl požadované charakteristiky na výstupu.

V závislosti na výrobci měniče podporují některé z těchto protokolů: Modbus RTU, Modbus TCP/IP, EtherCat, Profibus, Profinet a další. Průmyslové frekvenční měniče mohou také zahrnovat bezpečnostní funkce (Safe Torque Off, Safe Limit Speed, Safe Stop), digitální a analogové vstupy, integrovaný enkodér, rozhodovací logiku a další funkce. [21]

## 1.5 Služby v rámci trendu digitalizace

V této kapitole se budu věnovat službám EcoStruxure Machine Advisor a EcoStruxure Augmented Operator Advisor, které patří do čerstvé nabídky služeb od firmy Schneider Electric jako součást celkové architektury EcoStruxure v segmentu Machine. Obě tyto služby budou na pracoviště implementovány a ovlivní výběr komponent.



Obr. 1.4: Architektura EcoStruxure [22]

### 1.5.1 EcoStruxure Machine Advisor

EcoStruxure Machine Advisor (EMA) je nástroj pro monitorování a diagnostiku v dlouhodobém měřítku. Slouží k shromažďování dat ze zařízení (PLC, senzory, snímače atd.) na vzdálené úložiště (cloud).

Samotná služba EMA je pouze úložiště dat na cloudové platformě Microsoft Azure. Pro její implementaci je zapotřebí zařízení schopné číst data (z PLC, případně přímo ze senzorů), následně je upravit a odeslat na cloud. Toto zařízení může být několik podob. Zde je seznam požadavků [14] :

- Jeden ze dvou protokolů pro posílání dat na cloud:

## Format Charlie

Charlie is a json format that Machine Advisor supports

```
{
  "metrics": {
    "assetName": "prefix string",
    "Variable1": "number",
    "Variable1_timestamp": "Epoc Time for Variable1",
    "Variable2": "number",
    "Variable2_timestamp": "Epoc Time for Variable2"
  }
}
```

**Example:**

```
{
  "metrics": {
    "assetName": "M241",
    "Variable1": 99,
    "Variable1_timestamp": 1524579710733,
    "Variable2": 88,
    "Variable2_timestamp": 1524579710733
  }
}
```

## Format Tango

Tango is a json format that Machine Advisor supports

```
{
  "ID": "prefix string",
  "TS": "Timestamp string",
  "ST": "Start Address number",
  "VR": "Array of numbers"
}
```

**Example:**

```
{
  "ID": "SampleID",
  "TS": "18/01/2018 07:13:00",
  "ST": "200",
  "VR": [123.4, 5000, -100]
}
```

Obr. 1.5: Format Charlie (a) a Tango (b)

- HTTPS Post
- MQTT client – TLS encrypted, Quality of Service (QoS) 0
- Schopnost data upravit do JSON formátu Tango nebo Charlie
- Podpora protokolů: Modbus TCP/IP, Ethernet IP

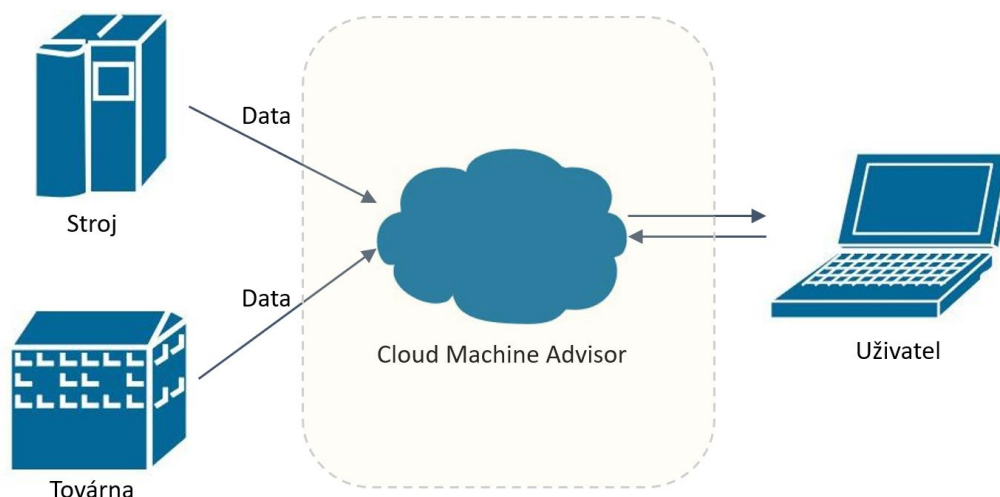
Obecně tyto požadavky splňuje několik typů zařízení v závislosti na softwarovém vybavení. Může se jednat o programovatelné IOT routery nebo gatewaye, osobní počítače (PC) a drobné mikropočítače (Raspberry PI). Ve všech případech se jedná o programovatelné zařízení s vývojovým prostředím. Na tvorbu aplikace se doporučuje vývojářské prostředí NodeRED, vizuální flow-based programovací nástroj na bázi javascriptu.

Služba EMA je schopná sbírat data z více strojů a z různých pracovišť. Tyto data jsou pak následně přístupná po přihlášení na webu EMA. Webové rozhraní umožňuje data si prohlédnout, promítnout do grafů a dále zpracovat. [24]

EMA není určen k monitorování dat v reálném čase a pro monitorování velkých kvant dat (zde je vhodnější SCADA). Dále není určen k řízení procesů v reálném čase na základě naměřených dat. Je určený ke zpětné analýze.

### 1.5.2 EcoStruxure Augmented Operator Advisor

EcoStruxure Augmented Operator Advisor je nástroj pro asistenci s údržbou a servisem stroje pracující v reálném čase za využití rozšířené reality (AR = augmented



Obr. 1.6: Orientační schéma funkce EMA

reality). Hlavním cílem EAOA je poskytnout ucelený zdroj informací, návodů a dokumentace pro rychlejší údržbu stroje.

Celá služba je rozdělena do 3 částí: **Builder**, **Runtime**, mobilní **aplikace** pro tablet. Nejdříve je popíši a poté objasním princip jejich součinnosti.

- **Builder** je online programovací nástroj pro tvorbu aplikace EAOA. Dostupný je srze webové rozhraní internetového prohlížeče na adrese <<https://app.schneider-electric.com/ecostruxure-augmented-operator-advisor>>.
- **Runtime** je aplikace pro server. Běží na zařízení s OS Windows 7 a vyšším a je zapotřebí pro každý stroj či skupinu strojů. Zařízení s runtime musí být na stejné internetové síti s PLC/HMI (zdroj dat) a tabletem, kde běží aplikace. Součástí Runtime je i vývojové prostředí NodeRED.
- Mobilní **aplikace** pro tablet je finální produkt EAOA, který slouží uživateli k zjednodušení a urychlení práce při údržbě, servisu a při výměně součástí. Poskytuje uživateli ucelený zdroj informací. Zobrazené informace mohou být data z PLC (např. provozní parametry stroje) a databází (SQL) poskytovaných v reálném čase. Dále jakákoliv dokumentace (manuály, datasheety, výkresy), internetové odkazy, přesné návody jak postupovat při opravě krok za krokem s okamžitou odezvou a upozorněním při mylném provedení dílčího kroku. Aplikace je zdarma k dispozici na Google Store, Apple Store a verze pro tablety s OS Windows je k dispozici na stránkách firmy SE.

Postup využití služby EAOA je následující: Programátor vytvoří ve webové aplikaci Builderu program. Ten je nahrán do serveru (zařízení, kde je spuštěný Runtime). Uživatel s tabletem spustí aplikaci EAOA a připojí se na server. Se spuštěnou aplikací namíří kameru tabletu na stroj a obrazovka se rozšíří o dodatečné informace.



Obr. 1.7: Ukázka aplikace EAOA

Aplikace pomocí počítačového vidění rozpozná stroj na obrazovce a podle toho zobrazí naprogramované rozhraní. V dynamicky se měnícím prostředí se používají nálepky s QR kódy na stroj, podle nich se zobrazí příslušné rozhraní a další informace.

Shrnutí požadavků pro server hostující EAOA runtime[14]:

- Operační systém Windows 7 nebo novější
- Připojení k internetu (runtime, PLC/HMI a tablet musí být na stejné síti)

Minimální požadavky na tablet pro mobilní aplikaci EAOA (platné pro verzi aplikace 4.3)[14]:

- Vhodný operační systém:
  - Windows 10 64-bit
  - iOS v11.2.5
  - OS Android v7.0 64-bit
- Kamera, Wi-Fi



## 1.6 Router

Router je síťové zařízení, které přesměrovává datové pakety mezi počítačovými sítěmi. Funkcí routeru je rozdělovat provoz dat na internetu. Data jsou posílána ve formě datových paketů. Typicky jsou předávány z jednoho routeru do druhého až do cílového zařízení skrze síť internetu.[13]

V základní podobě router neupravuje data, ale pouze je přeposílá dál. Stará se o zabezpečení a na základě nastavených pravidel povoluje průchod pouze některým paketům. Mezi bezpečnostní prvky patří firewall, tvorba tunelů (VPN), vhodné ošetření přístupnosti portů a šifrování komunikace. [13]

Na trhu se objevují routery s přívlastkem IOT nebo ‘vhodné pro IOT’. Toto označení však nemá přesnou definici. Vesměs se jedná o zařízení s dodatečnými funkcemi pro komunikaci s jinými zařízeními. IOT routery často mají více modulární strukturu co se týče fyzických komponent i softwarového vybavení a jsou vybaveny jednoduše přístupným programovatelným rozhraním.

## 2 Výběr komponent

V této kapitole se budu věnovat výběru komponent použitých k sestavení školícího pracoviště. Než se ale pustíme do výběru komponent je nutné definovat přesné požadavky.

### 2.1 Podrobné zadání pro VŠP

Cílem vzdáleného pracoviště je prezentovat některé z výrobků firmy Schneider Electric CZ s.r.o. a sloužit při zaškolení zákazníků v jejich obsluze, zapojení a konfiguraci a dále jako testovací sestava pro jejich technický personál. Školící úlohy budou jednoduchého rázu. Jedná se o alternativu k zapůjčení vzorků zákazníkům nebo jako náhrada pokud nebude lokálně dostupně potřebné vybavení.

Konkrétněji by zařízení mělo sloužit:

- k prezentaci vzdáleného přístupu k řídicímu systému (diagnostika, vyhodnocení provozních dat...)
- k prezentaci postupu konfigurace, nastavení a ukázce funkčních vlastností výrobků Altivar a Lexium
- k prezentaci zmíněného hardwaru zákaznickovy vzdáleně se zpětnou vazbou (ve formě videa), jako alternativa pro případ, kdy není lokálně dostupné potřebné vybavení
- k prezentaci nových technologií v trendu digitalizace, přesněji softwaru EcoStruxure Machine Advisor (EMA) a pokud možno i EcoStruxure Augmented Operator Advisor (EAOA)

Další specifikace zařízení:

- Celá sestava by měla obsahovat běžně používané komponenty. Zajisté bude obsahovat PLC (řídicí systém), operátorský panel, pohon z kategorie Altivar, servopohon z kategorie Lexium.
- Ke zpětné vazbě použít IP kameru nebo webkameru. Při jejich umístění zajistit, aby byl dobrý pohled na všechny přístrojové displeje a indikátory
- Umožnit zákazníkům dočasný přístup
- Pracoviště bude určeno k zavěšení na zeď a občasně k přepravě na školící působiště. Nijak dál není fyzické uspořádání blíže specifikováno.

### 2.2 Obecný návrh komponent

Teď, když máme definované požadavky a nároky na sestavu můžeme začít volit jednotlivé komponenty. Veškerá práce byla průběžně konzultovaná s pracovníky

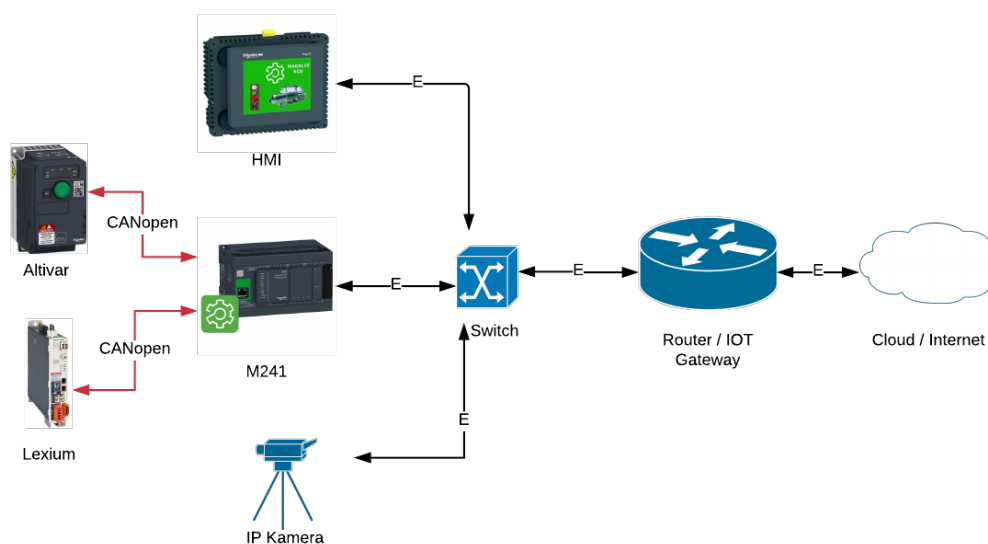


firmy Schneider Electric CZ s.r.o., konkrétně s Ing. Oldřichem Navrátillem (Product Application Engineer), Ing. Petrem Augustínem (Product Application Engineer) a Ing. Jurijem Tomisem (Product Application Engineer - Motion). Návrh vznikl na základě jejich požadavků a doporučení, protože aplikaci VSP budou nejvíce využívat právě oni.

Pracoviště bude jistě obsahovat tyto komponenty:

- PLC - programovatelný automat
- HMI - operátorský panel
- Frekvenční měnič řady Altivar
- Servopohon řady Lexium
- Kameru - jako vhodnou vzdálenou zpětnou vazbu
- Switch - spojovací síťový prvek
- Router, IOT gateway - vstupní síťový zabezpečovací prvek s funkcemi pro data logging (bud jako jedno zařízení nebo odděleně)
- Zdroje
- Signalizační prvky, kabeláž a další pomocné prvky

Komponenty budou preferenčně vybírány z portfolia firmy SE. Výjimku bude tvořit kamera a některé síťové prvky. Na webových stránkách je k dispozici kompletní přehled všech produktů firmy Schneider Electric [4].



Obr. 2.1: Orientační schéma (E = ethernetová komunikace)

## 2.3 Požadavky EMA a EAOA

Nároky na EcoStruxure Machine Advisor (EMA) a EcoStruxure Augmented Operator Advisor (EAOA) značně ovlivní volbu komponent, proto je nutné se nejdříve seznámit s jejich požadavky, které jsem popsal v kapitole 1.5.

Začneme s Machine Advisor. Tato služba vyžaduje zařízení (nejčastěji IOT gateway) která formátuje získaná data a posílá je na cloudový server. Data jsou zasílána ve formátech Tango nebo Charlie pomocí protokolů HTTPs POST a nebo MQTTs (s TLS šifrováním a s Quality of Service 0). Dále je povinná podpora Modbus TCP/IP. Mezi dodatečné, ale ne nutné vlastnosti patří: další porty a seriový Modbus (a jeho konverze na TCP/IP).

Tyto podmínky vyřazují většinu běžných routerů z nabídky. Pro tuto aktivitu se hodí brána (gateway), která ze své definici slouží k upravě dat z jednoho komunikačního protokolu na jiný. Např. ze seriového Modbus na Modbus TCP/IP [10]. Oproti dřívějším branám se již objevují IOT brány určené pro aplikace ‘internetu věcí’. Jsou určeny pro převádění dat z mnoha sériových protokolů, které jsou časté u snímačů, na ethernet. To dovoluje sbírat data bez potřeby dalšího řídicího systému (např PLC).

V případě AOA jsou požadavky jednodušší. Server, na kterém poběží AOA Runtime, musí být zařízení s operačním systémem Windows 7 a novější. To je jediný technický požadavek, který se týká AOA. Součástí pracoviště musí být PC, průmyslové PC nebo jiné zařízení s OS Windows.

## 2.4 Řídicí systém

Pro menší a středně náročné aplikace jsou nejvhodnější řídicí systémy řady Modicon M241. Tato řada je určena pro výrobce strojů (OEM). Patří k hojně zastoupených produktům a proto bude vhodná pro školící a testovací účely. Byl zvolen model s typovým označením TM241CEC24T. Tento řídicí systém má dostatečný výkon a je hojně využíván zákazníky pro výrobu strojů s vyššími nároky na výkon. Tato varianta je vybavena 24 vstupně-výstupními digitálními porty, obsahuje Ethernet a CANopen port. Jako všechny jednotky Modicon disponuje sériovým protokolem Modbus. K řídicí jednotce lze připojit až 14 přidaných modulů TM4. V tomhle případě využiji dvou slotů rozšiřující karty TM4ES4. Rozšiřující karta TM4ES4 je ethernetový switch se 4×RJ45 porty. [3]



Obr. 2.2: Kontrolér TM241CEC24T



Obr. 2.3: Přídavná karta TM4ES4 slouží jako síťový switch

## 2.5 Operátorský panel

Jako operátorský panel jsem zvolil dvoudílnou kombinaci boxu HMIG5U2 a displeje HMIDT351. Displej má rozlišení 800 x 480 pixelů o úhlopříčce 7". Box je připevněn na zadní část displeje a spolu tvoří celek operátorského panelu. Box obsahuje procesor Intel X86 1.33 GHz, operační systém Windows Embedded 7, úložný prostor 32 GB, dva porty RJ45, USB port a podporu protokolů Ethernet IP, Modbus, Modbus TCP/IP a Uni-Telway. Přítomnost OS Windows 7 je nutná pro spuštění Runtime pro EcoStruxure Augmented Operator Advisor.

Hlavní výhodnou této varianty je přítomnost OS Windows 7 embedded, jeho podpora je nutná pro použití EcoStruxure Augmented Operator Advisor. Jsou dvě varianty boxu: HMIG5U a HMIG5U2, přičemž jsem zvolili výkonnější verzi HMIG5U2.

### Complementary

Pixel resolution	800 x 480
Touchscreen resolution	800 x 480
[Us] rated supply voltage	12...24 V DC power supply
Supply voltage limits	10.8...28.8 V
Power consumption in W	6.5 W
Display size	7 inch
Display type	Colour TFT LCD
Display resolution	800 x 480 pixels WVGA
Display colour	262144 colors
Backlight lifespan	50000 hours
Touch panel	Single touch analogue resistive
Type of installation	Indoor installation
Type of cooling	Natural convection
Inrush current	30 A
Cut-out dimensions	190 (+ 1/- 0) x 135 (+ 1/- 0) mm
Width	203.6 mm
Height	148.6 mm
Depth	36 mm
Product weight	1.2 kg

Information is not intended as a substitute for and is not to be used for determination of suitability of these

Obr. 2.4: Parametry displeje HMIDT351 [26]

## 2.6 Pohony

V další podkapitole se budu zabývat výběrem řídicích jednotek pro ovládání elektrických motorů. Pro asynchronní motory jsou to frekvenční měniče a pro synchronní motory servopohony. Oba typy obsahují řídicí část a výkonovou část, skrze kterou napájí motory. Přítomnost frekvenčního měniče a servopohonu je daná jedním z hlavních požadavků pro umožnění testování a výuky konfigurace, proto bude z každé kategorie vybrán jeden. Ke každému pohonu bude přidán i motor. Na samotný motor nejsou kladeny žádné konkrétní nároky na výkon či specifikace. Na hřídeli motoru bude pouze setrvačný terčik. Při testovacích aplikacích nám stačí vědět, že při správném nastavení pohonu se hřídel motoru točí, a proto můžeme dovolit nejdříve vybrat pohon a až poté motor. Tento přístup je proti běžné praxi, avšak pro tuto aplikaci je použitelný. Hlavním kritériem při výběru je četnost mezi



(a) HMIG5U2



(b) HMIDT351

zákazníky, vedlejšími potom počet funkcí a cena.

### 2.6.1 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič volím z třídy Altivar 320. Konkrétní model nese označení ATV320U07M2B. Tento model je určený k ovládání motorů do výkonu 0,75 KW a je určen pro napájení jednou fází v rozsahu 200-240 V střídavého napětí. S PLC komunikuje pomocí protokolu CANopen a disponuje seriovým portem Modbus.

Firma Schneider Electric nedisponuje klasickými asynchronními motory. Jediný "asynchronní" motor v nabídce je ve skutečnosti synchronní motor s permanentními magnety řady BMP avšak bez enkodéru a bez výstupu pro zpětnou vazbu. Tento motor i využijeme. Jeho konkrétní označení je BMP1001R3NA2A. Jeho další výhodou je menší velikost a hmotnost oproti běžným asynchronním motorům, což usnadní jeho montáž na pracoviště. Maximální výkon činí 0,75 KW.



(a) ATV320U07M2B



(b) BMP1001R3NA2A



(c) LXM32MU90M2



(d) BMH0701P01F2A

### 2.6.2 Servopohon

Pro řízení synchronního motoru bude použit servopohon z řady Lexium 32. Firma Schneider Electric nabízí širokou paletu servopohonů pro různé výkony ve verzích book, compact a v integrovaném provedení. Z hlediska nastavení jsou si velmi podobné. Rozhodl sem se zvolit model z nižší části výkonového spektra s ohledem

na nižší cenu a vybral jsem LXM32MU90M2. Jedná se o provedení kniha(book) o maximálním výkonu 0,5 KW. Servopohon komunikuje s PLC pomocí CANopen.

Je použit servomotor BMH0701T07A2A (obr.2.6d), velikost příruby 70mm, točivý moment 1.4 Nm, maximální otáčky 8000 ot./min. Mezi servomotorem a servopohonem jsou dva kabely, jeden silový pro přenos výkonu a druhý informační pro zpětnou vazbu z enkodéru zpět do Lexium.

## 2.7 Síťová architektura

V této sekci se budu věnovat síťovému zapojení, jejím prvkům a topologii. Je zapotřebí zajistit zabezpečení celé sestavy před neoprávněným přístupem, jednoduché a bezpečné spojení s uživatelem vzdáleně přes internet. Budeme také vycházet z požadavků pro MA a AOA ze strany 21.

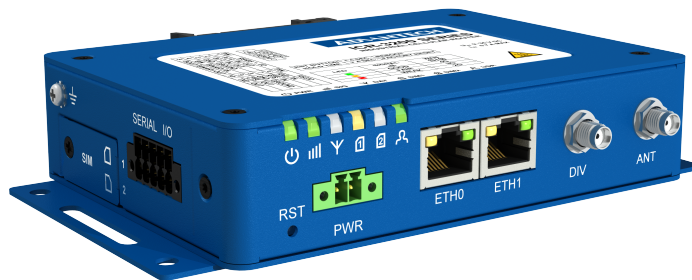
Požadavky na 'síťový prvek' jsou následovné: Cílem je najít zařízení které splňuje všechny technické požadavky popsané v sekcích o AOA a MA 2.3 a dále aby dostatečně zabezpečilo pracoviště. Je nutné taky myslet na cenu, dostupnost na českém trhu a vybírat mezi komponenty používanými českými firmami. Dostupnost na českém trhu nejen usnadní pořízení komponent, ale také hlavně pomůže zákazníkům při tvorbě vlastní aplikace, jenž mají tendenci volit předně české dodavatele. Díky tomu mohou použít toto školicí pracoviště jako vzor/ukázkou při tvorbě vlastních aplikací.

Řešením mohou být buď kombinace dvou zařízení routeru a brány (gateway) anebo jedno zařízení slučující vlastnosti routeru a brány. V případě, že bychom se připojovali do stávající síťové infrastruktury (jenž obsahuje routery a zabezpečení), by stačilo zakoupit jen bránu. Toto řešení jsme však zavrhlí, síťová bezpečností infrastruktura firmy SE, která znemožňuje napadení z vnějšku zároveň značně znesnadňuje jednoduchý přístup z internetu dovnitř sítě (tj. k pracovišti), by zabránila jiným uživatelům než zaměstnancům firmy SE k připojení na pracoviště. Souhrn těchto podnětů vede k řešení využití jediného zařízení: kombinace router a IOT brány v jednom.

### 2.7.1 Výběr routeru

Jako vstupní síťový prvek jsem zvolil gateway a router Advantech ICR-3231. Jedná se IOT gateway, která slouží zároveň jako LTE router. Lokální komunikační rozhraní tvoří 2 RJ45 Ethernet 10/100 Mb nastavitelné LAN/WAN porty, sériová linka RS232, RS485, jeden binární vstup a jeden binární výstup. Připojení k internetu zajišťují 2 mobilní antény a router disponuje 2 SIM sloty.

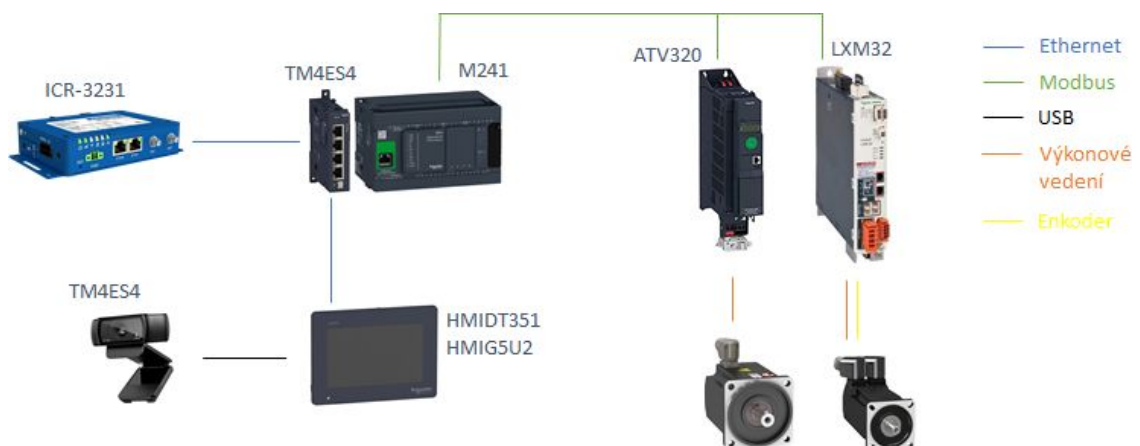
Na Gateway lze instalovat uživatelské moduly (User Module), které rozšiřují funkce. Pro VSP bude nutné instalovat UM pro NodeRED, který umožní před odesláním formátovat data z PLC. Podrobný výčet vlastností routeru je k dispozici v datasheetu [27].



Obr. 2.7: Router ICR-3231

K routeru přibude pouze ethernetový switch pro zajištění propojení všech komponent. Zde sem zvolil přídatnou kartu TM4ES4 s 4×RJ45 Ethernet 10/100 Mb porty.

Obr. 2.8: Schéma zapojení IT na pracovišti



## 2.8 Kamera

Školící pracoviště musí být přístupné vzdáleně. Dále je taky nutné mít možnost zpětné vazby. K tomu účelu se nejlépe hodí kamera, bude sloužit jako doplněk k monitorovacím funkcím SoMove a SoMachine. Je potřeba sledovat, zda-li se točí motory a stav signalizačních LED kontrolěk. Kamera by se umístila do vhodné vzdálenosti, aby zabírala celé pracoviště s dostatečným rozlišením. Z praktických důvodů vzdálenost nebude velká, pravděpodobně mezi 0,5 až 1 metrem. Odhadem pracoviště bude menší než kvádr o hraně 0,5-0,7m , proto nebude zapotřebí širokého zorného pole či směřování kamery.

Na trhu jsou 2 kategorie kamer vhodné k použití: IP kamery a webkamery. Obě mají jiné zaměření a tím pádem i jiné vlastnosti a využití. Nyní je krátce popíši.

**IP kamery** jsou určeny pro zabírání větších ploch, místností nebo venkovních prostor. Jsou navrženy k dlouhodobému pozorování konkrétní oblasti [9]. Mají širší zorné pole (FOV), jsou robustnější, samostatné a nepotřebují žádné další zařízení. Obsahují vlastní web server, často jsou permanentně připojeny k internetu. Některé IP kamery potřebují spojení se serverem pro provoz. [8] Jsou dražší oproti webkamerám.

Oproti tomu **webkamery** jsou určeny pro sociální aktivity, tzn. pro streamování, video konference, IM, Skype. Nejsou konstantě připojeny k internetu, avšak slouží jako příslušenství k PC a bez něj je nelze použít. Vykazují taky nižší pořizovací náklady. Jejich zorné pole je často užší, mají funkce pro sledování obličeje, auto zoom. [8]



Obr. 2.9: Webkamera Logitech HD Pro Webcam C920

Rozhodl jsem se pro webkameru Logitech HD Pro Webcam C920 (obr.2.9) od stejnojmenné firmy Logitech. Webkamera má USB rozhraní pro připojení k PC. Disponuje rozlišením FullHD, mikrofonom, nastavitelným úchytem s možností použití



stativu. K jejím dalším funkcím patří autofocus, potlačení okolního šumu a technologie korekce osvětlení.

Samotná webkamera by nestačila ke streamování bez přítomnosti dodatečného PC, avšak v našem případě můžeme dodatečně využít operátorský panel s Windows embedded 7. Pro vzdálené snímání obrazu bude vytvořen server na HMI, který se bude automaticky zapínat při připojení pracoviště k elektřině. Server pro stream videa vytvoříme instalací vhodné aplikace. Uživatel se připojí k HMI po internetu a dostane se tak na webové rozhraní ze kterého bude možné sledovat pracoviště.

## 2.9 Další komponenty

### 2.9.1 Volba zdroje

Mezi poslední vybírané komponenty patří zdroj stejnosměrného napětí 24V. Většina zařízení jej potřebuje k provozu, to platí i pro řídicí část servopohonu Lexium 32. Nejdříve si spočteme příkon potřebný k napájení všech zařízení vyžadující 24V, jejich soupis je v tabulce 2.1.

Tab. 2.1: Tabulka příkonů jednotlivých zařízení

Položka	Max příkon [W]
eWon Flexy 205	30
PLC M241	33
HMIG5U2	15
HMIDT551	8
Lexium 32	18

Součet všech položek je 104 W. Když k tomu připočteme rezervu 10% vyjde nám odpovídající zdroj napětí 24 V s označením Phaseo ABL8 - ABL8REM24050 s výkonem 120W. Router má vlastní zdroj napětí a proto nebyl připočítán.

### 2.9.2 LED

Součástí pracoviště je 6 LED signálek, které budou zapojeny dle schématu v příloze D.

## 2.10 Nosná konstrukce

Při návrhu nosné konstrukce jsem vycházel ze zadání. Z něj vyplývá, že komponenty by měli být pohromadě a umístěny tak, aby byli indikátory a displeje čitelné z jednoho bodu pohledu. Celá konstrukce bude zavěšena na zeď.

Tyto požadavky nechávají velké pole působnosti pro vlastní interpretaci.

Rozhodl jsem se, že využiji hliníkovou mříž rozměru 70x45 cm jako podklad, na který umístím ostatní prvky. Zároveň je mříž dostatečně veliká aby se na ni vše umístilo. Z její povahy vyplývá možnost modulárních úprav do budoucna. Frekvenční měnič ATV320 a servo měnič LXM32 je možné našroubovat přímo na mříž. Zdroj 24V, PLC, router a proudový chránič disponují patičí na DIN lištu. Zbývající komponenty - oba motory, operátorský panel, kameru a signální LED - nelze umístit na panel přímo nebo ani s pomocí DIN lišty. Pro ně budou vyrobeny držáky z hliníku a plexiskla aby je bylo možné namontovat.

Realizaci nosné konstrukce se budu podrobněji věnovat v kapitole 3. Součástí příloh DP je schéma montáže komponent na mříž a jejich vzájemného umístění na mříži.

## 2.11 Shrnutí

V tabulce 2.2 je seznam všech komponent a až na první dvě položky se jedná o produkty firmy Schneider Electric. Komponenty se budou skládat na šasi tvořenou hliníkovou mříží. Na obr. 2.8 je schéma zapojení IT.



Obr. 2.10: Zdroj napětí

Tab. 2.2: Konečný seznam komponent

Položka	Typové označení	Popis / vypis vlastností	Počet
1	ConelRouter ICR-3231 4G LTE Cat.4	WAN-LAN router, LTE, 4G, WiFi karta, IO karta, obsah balíčku v řádcích níže	1
2	Logitech HD Pro Webcam C920	Webkamera, 1080p, univerzální klip/možnost stativu	1
4	TM241CEC24T	PLC Modicon M241 24 IO poz.logika Ethernet CAN maste	1
5	TM4ES4	Komunikační modul, Ethernet switch 4 porty	2
6	HMIG5U2	Open BOX (power) pro GTU, CPU E3825-1,33GHz 2xserial (RJ45 RS485, SubD9 RS232/485/422), 4xUSB, 2xEthernet, DVI, 1xSD,2xCFast slot, 2GB-RAM, WES (W7)	1
7	HMIDT351	Advanced Display - 7" TFT dotyk.262k barev, WVGA (800*480), 12-24VDC, IP67f	1
8	ABL8REM24050	spínaný zdroj - 1 fáz. - 240 V AC - 24 V - 5 A - 120W	1
9	XB5AVB1	bílá kompletní signálka Ø22 plná čočka integ. LED 24V	4
10	XB5AVB3	zelená kompletní signálka Ø22 plná čočka integ. LED 24V	2
11	TCSCAR013M120	CANopen zakončovací impedance RJ45 - CANopen	1
12	VW3A8306TF10	Modbus "T" rozbočovač - 1xRJ45 samec a 2xRJ45 samice	2
13	VW3A8306RC	zakoncovací impedance RS485 - RJ45 konektor	1
14	VW3CANCARR1	CANopen kabel - 2xRJ45 - kabel 1 m	2
15	VW3A8306R03	kabel pro Modbus seriovou linku - 2xRJ45 - kabel 0.3 m	2
16	ATV320U07M2B	Frekvenční měnič ATV320-0,75kW, format book	1
17	BMP1001R3NA2A	Synchronní motor - BMP - 230 VAC - 0.75 kW	1
18	VW3M5501R30	Napájecí kabel k motoru,délka 3 m	1
19	BMH0701T07A2A	Servomotor BMH, příruba 70 mm IEC, Mo=1,4 Nm, IP54, hřídel hladká, více otáčkový absolutní enkodér SinCos, s brzdou, úhlové otočné konektory	1
20	LXM32MU90M2	Servoměnič Lexium 32M, 3/9 A, 1 x 230 V / 50 Hz, modulární provedení, řízení Modbus, sekvence polohování, pulzy	1
21	VW3A3608	Komunikační modul CANopen pro LXM32M (2 x RJ45)	2
22	VW3M5101R30	Kabel motorový, konektor na straně motoru, délka 3 m	1
23	VW3M8102R30	Kabel enkodérový, konektory na obou koncích, délka 3 m	1

## 3 Sestavení

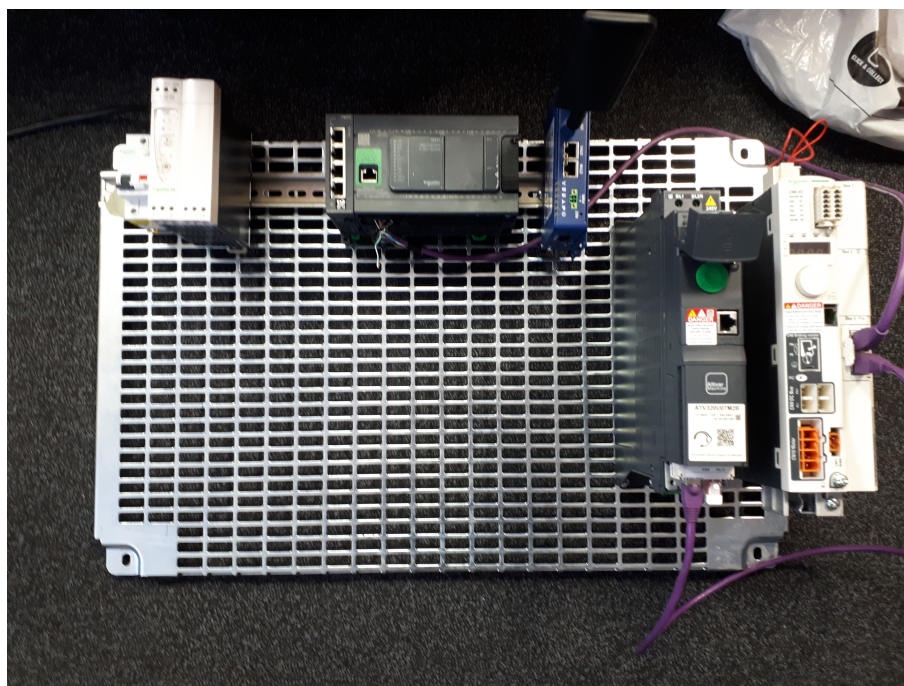
V této kapitole popíši postup sestavení pracoviště. Postupoval jsem na základě návrhu z předchozích kapitol.

### 3.1 Nosný rám

Požadavky na pracoviště vyžadují aby byla sestava zavěsitelná na zeď. Další požadavek vyplývá z nároků pro kameru, která musí mít dobrý přehled nade všemi ostatními komponenty. Jako nejpraktičtější se jeví jednoduchý poklad, na který se namontuje zbytek komponent.

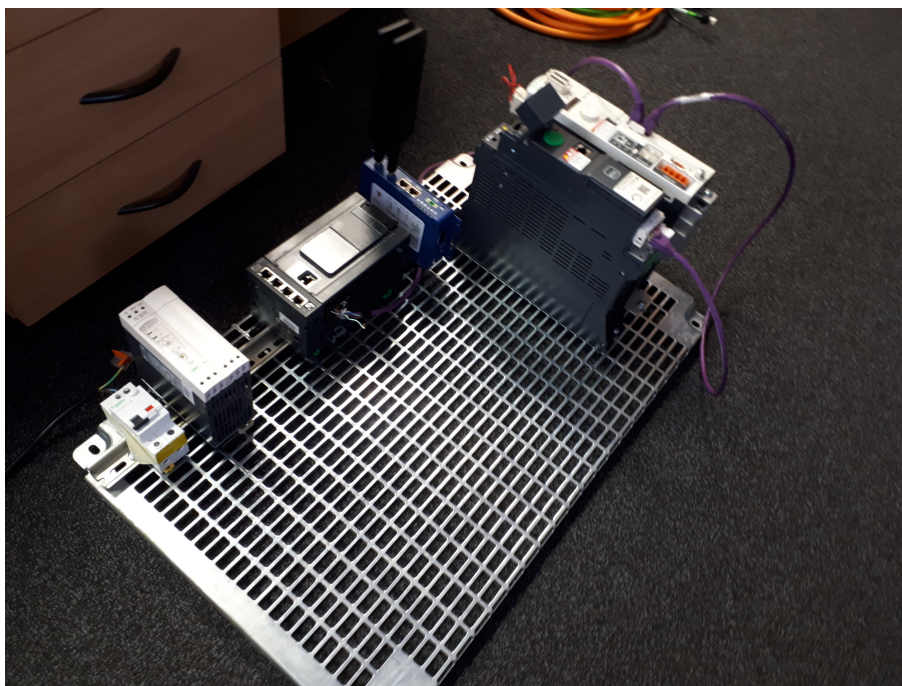
Rozhodl jsem se použít již dostupnou hliníkovou mříž o rozměrech 700x450 mm. Množství otvorů usnadní montáž komponent a snadnou úpravu pracoviště v budoucnosti. Pracoviště se může dále v budoucnu modifikovat s tím, jak do něj můžou být implementovány další služby firmy SE nebo nové komponenty.

Přímo na mříž jsem namontoval servo měnič Lexium 32 a frekvenční měnič ATV320. Následovala DIN lišta, na ni přišel proudový chránič, zdroj 24 V, PLC M241 s přídatnou kartou TM4ES4 a router ICR-3231. V případech, kde to bylo možné a praktické byly elektrické rozvody vedeny na zadní straně mříže.



Obr. 3.1: Částečně sestavené pracoviště





Obr. 3.2: Částečně sestavené pracoviště

## 3.2 Dodatečné držáky

Některé komponenty nelze přímo namontovat na mříž. Důvodem je, že neobsahují žádné otvory, skrze které je možné je přišroubovat či jinak pevně spojit s mříží. Jedná se o oba motory (BMP100 a BMH070), operátorský panel, LED signálky a webkamera.

V případě kamery je jeden z požadavků dobrý výhled na mříž s komponenty. Z toho vyplývá, že kamera nemůže být na mříži, ale v dostatečné vzdálenosti od ní. Jsou dvě možná řešení pro úchyt kamery, první je spojit ji s mříží skrze tyč a vytvořit tak stativ fixovaný na mříž. Druhá alternativa je použít běžný stativ a umístit jej na zem před mříž. Vzhledem k tomu že pracoviště bude zavěšené na stěně se druhá alternativa příliš nehodí.

Celkem jsem navrhl 4 kusy držáků, které byly zadány do výroby externí firmě. Schéma pro zhotovení je v příloze B:

- Pro motor BMH70 a BMP100 se v obou případech jedná o hliníkový pás ohnutý do tvaru L, jsou identické tvarem, ale liší se rozměry.
- Kamera bude na 60 cm hliníkovém pásu zahnutým na obou koncích a vyztuženým proti ohybu.
- Operátorský panel spolu se signálními LED budou na jednom kusu plexiskla. V něm budou otvory pro uchycení panelu a signálek.

Kvůli pozdnímu zadání podkladů pro výrobu nebyly doposud držáky vyrobeny.

Proto nejsou instalované na pracovišti. HMI a motory se podařilo dočasně provizorně přimontovat, pro signální tlačítka a webkameru se nenašlo smysluplné dočasné řešení. Jakmile budou držáky k dispozici, budou doinstalovány na pracoviště.

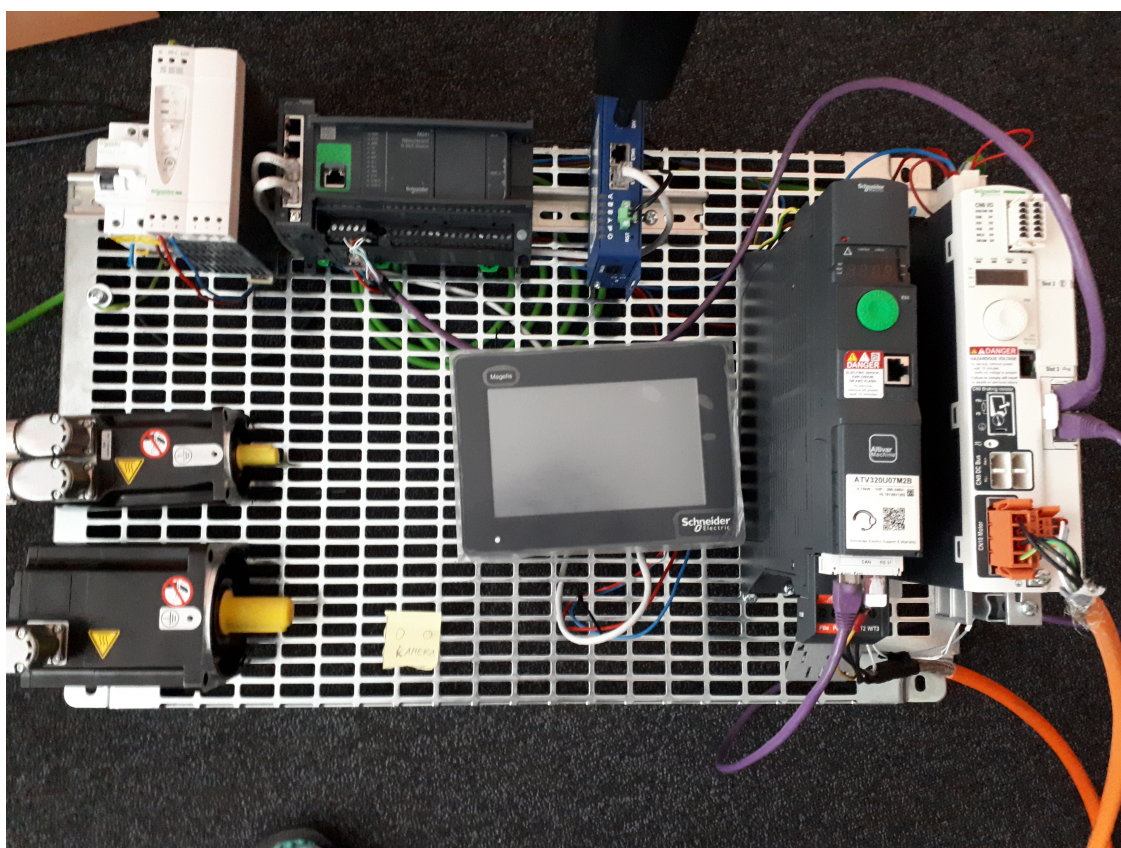
### 3.3 Elektroinstalace

Součástí přílohy D je schéma zapojení elektroinstalace pracoviště. Vstupní napětí 230 V bylo vedeno dráty CYKY-J průřezu 2,5 mm<sup>2</sup>. Malé napětí 24V bylo vedeno měděným lankem o průřezu 1,0 mm<sup>2</sup>. Součástí routeru je i napájecí zdroj, který byl využit a proto není součástí schéma. Oproti schématu nejsou zapojeny signální LED protože chybí držák na jejich uchycení.

### 3.4 Shrnutí - Aktuální stav

Aktuálně je pracoviště složeno jak je na obr 3.3. Pouze komponenty vyžadující speciální držáky nebyly plnohodnotně nainstalovány.

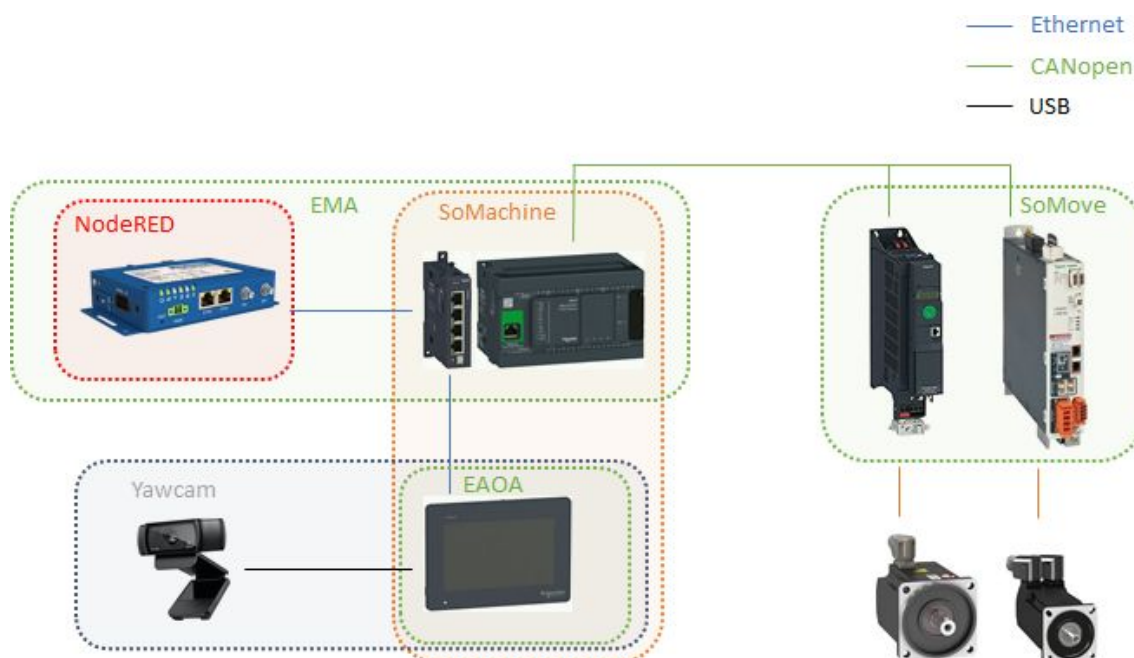
Dočasně se podařilo připevnit motory a taky operátorský panel k mříži, díky tomu lze otestovat většinu funkcí. Signální LED nebylo možné provizorně nainstalovat a proto nejsou zapojeny. Stejně tak nebylo možné bez stojanu připevnit webkameru či ji jinak nasměrovat na mříž. Web kamera je jediný komponent který nebylo možné přímo otestovat se záběrem na pracoviště. Pro testování však byla připojena k HMI a byla ověřena streamovací funkce (více v kapitole 4.6).



Obr. 3.3: Aktuální stav

## 4 Software a program

V této kapitole rozeberu software a programy použité pro VSP. Na pracovišti se mísí několik různých softwarů a služeb. Některé spolu i interagují. Na obr 4.1 je znázorněna jejich součinnost.



Obr. 4.1: Provázanost softwarových prvků

Nyní krátce popíši jednotlivé softwarové elementy, podrobnější popis bude následovat dále v kapitole:

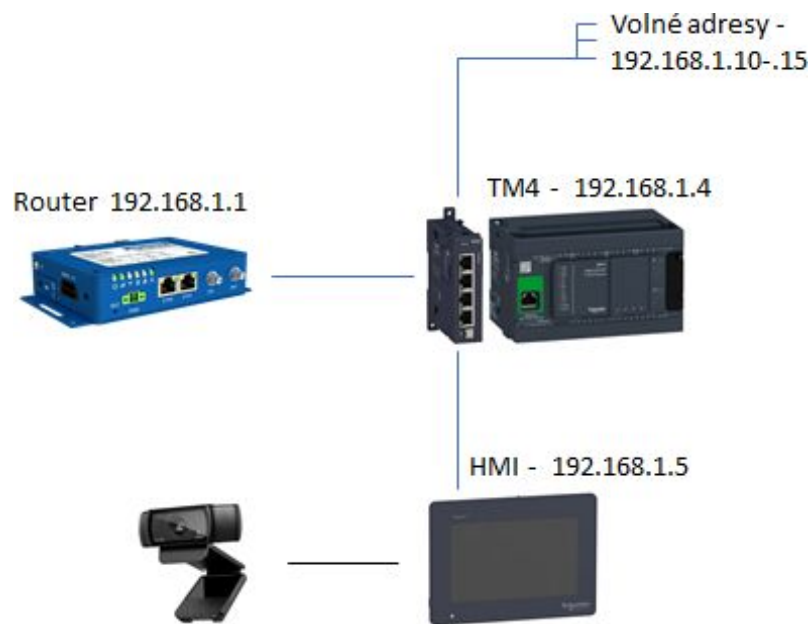
- **Vzdálené připojení** - v tomto případě se nejedná o specifický software, ale popíši nastavení routeru pro zajištění zabezpečení vzdáleného připojení mezi pracovištěm a technikem a také zapojení komponent v síti.
- **SoMachine** - Software pro tvorbu algoritmu pro řízení pracoviště. V SoMachine se vytváří vizualizace pro HMI. Součástí SoMachine je i SoMove.
- **SoMove** - Software pro nastavení frekvenčních měničů a servoměničů firmy Schneider Electric. Použitý pro nastavení ATV320 a LXM32.
- **EcoStruxure Machine Advisor** - Software pro automatické zaznamenávání provozních dat z pracoviště. Program v SoMachine generuje data, PLC funguje jako TCP server, NodeRED v routeru si vytahuje data z PLC, upraví je do vhodného formátu a zašle na cloudovou platformu.
- **EcoStruxure Augmented Operator Advisor** - Služba pro výpomoc s údržbou. Program je nahrán na HMI, kde běží runtime.
- **Webkamera** - Webkamera bude použita jako zpětná vazba pracoviště a bude



snímat komponenty. Je třeba zajistit přístup uživatele k obrazu kamery. Kamera je s USB připojena k HMI, kde je streamovací server.

## 4.1 Nastavení ethernetové sítě a vzdálené připojení

Aby mohly jednotlivé komponenty spolupracovat, je nutné nastavit síť. Fyzickým středobodem sítě je přídavná karta TM4ES4, která slouží jako ethernetový switch. Logickým středem je pak router. Každému zařízení v síti byla přiřazena statická IP adresa v lokální síti. Podrobnosti jsou na tabulce 4.1 a obrázku 4.2.



Obr. 4.2: Schéma ethernetové sítě

	IP adresa
router port ETH0	192.168.1.1
router port ETH1	192.168.2.1
TM4ES4	192.168.1.4
HMI	192.168.1.5
Notebook	192.168.1.3
Volné adresy	192.168.1.10-.15

Tab. 4.1: Routovací tabulka

Router má dva ethernetové porty (ETH0 a ETH1), přičemž pro VSP bude využit pouze jeden. Lokální síť bude mít adresu 192.168.1.x a podmasku 255.255.255.0. Router má SIM s privátní adresou, která umožní přístup z internetu.

Přístup k routeru je pouze přes zabezpečený HTTPS protokol a pomocí přihlášení přes jméno a heslo.

### 4.1.1 Nastavení LAN

Router má dva ethernetové porty (ETH0 a ETH1), přičemž pro VSP bude využit pouze jeden - port ETH0. Lokální síť bude mít adresu 192.168.1.x a podmasku 255.255.255.0. Router má SIM s privátní adresou, která umožní přístup z internetu. Router má aktivní DHCP a může rozdat celkem 5 adres v rozsahu 192.168.1.10-192.168.1.15. Tyto adresy jsou určeny pro uživatele, kteří se budou chtít k VSP připojit fyzicky, např. pro techniky SE. Adresa 192.168.1.3 je rezervovaná pro můj firemní notebook na základě MAC adresy. Tím si zajistím statickou IP adresu v rámci sítě VSP a zároveň si mohu ponechat aktivní DHCP klient na mém firemním notebooku.

#### ICR-3200 Industrial Cellular Router

Status			
General			
Mobile WAN			
Network			
DHCP			
IPsec			
DynDNS			
System Log			
Configuration			
LAN			
• Primary			
• Secondary			
VRRP			
Mobile WAN			
PPPoE			
Backup Routes			
Static Routes			
Firewall			
NAT			
OpenVPN			
IPsec			
GRE			
L2TP			
PPTP			
Services			
Expansion Port 1			
Expansion Port 2			
Scripts			
Automatic Update			
Customization			
User Modules			
Administration			
Users			
Change Profile			
Change Password			
Set Real Time Clock			
Set SMS Service Center			
Unlock SIM Card			
Unblock SIM Card			
Send SMS			
Backup Configuration			
Restore Configuration			
Update Firmware			
Reboot			
Logout			

DHCP Client		
IPv4	disabled	
IPv6	disabled	
IP Address	192.168.1.1	
Subnet Mask / Prefix	255.255.255.0	
Default Gateway		
DNS Server		

Bridged		
Bridged	no	
Media Type	auto-negotiation	

Enable dynamic DHCP leases		
IPv4	192.168.1.10	
IPv6		
IP Pool Start	192.168.1.10	
IP Pool End	192.168.1.15	
Lease Time	600	600 sec

Enable static DHCP leases		
MAC Address	IP Address	IPv6 Address
54:E1:AD:DC:CE:99	192.168.1.3	

Enable IPv6 prefix delegation	
Subnet ID *	
Subnet ID Width *	bits

Enable IEEE 802.1X Authentication	
Authentication Method	EAP-PEAP/MSCHAPv2
CA Certificate	
Local Certificate	
Local Private Key	

Obr. 4.3: Nastavení primární LAN sítě na routeru

## 4.1.2 NAT

Pro připojení k SoMachine je třeba nastavit NAT (network address translation). Protokol NAT umožní zařízením za routerem komunikovat ven, přičemž vnějším zařízením se zdá, že komunikují pouze s routerem. Na obr 4.4 je použitá konfigurace.

**ICR-3200 Industrial Cellular Router**

Status			
General			
Mobile WAN			
Network			
DHCP			
IPsec			
DynDNS			
System Log			
Configuration			
LAN			
VRRP			
Mobile WAN			
PPPoE			
Backup Routes			
Static Routes			
Firewall			
NAT			
• IPv4			
• IPv6			
OpenVPN			
IPsec			
GRE			
L2TP			
PPTP			
Services			
Expansion Port 1			
Expansion Port 2			
Scripts			
Automatic Update			
Customization			
User Modules			
Administration			
Users			
Change Profile			
Change Password			
Set Real Time Clock			
Set SMS Service Center			
Unlock SIM Card			
Unblock SIM Card			
Send SMS			
Backup Configuration			
Restore Configuration			
Update Firmware			
Reboot			
Logout			

Public Port	Private Port	Type	Server IP Address
1105	1105	TCP	192.168.1.4
80	80	TCP	192.168.1.5
6000	6000	TCP	192.168.1.5
6002	6002	TCP	192.168.1.5
13777	13777	TCP	192.168.1.5
6001	6001	TCP	192.168.1.5
8081	8081	TCP	192.168.1.5
8081	8081	UDP	192.168.1.5
8082	8081	TCP	192.168.1.3
8082	8081	UDP	192.168.1.3
		TCP	
		TCP	
		TCP	
		TCP	
		TCP	
		TCP	
		TCP	

<input type="checkbox"/> Enable remote HTTP access on port	80
<input checked="" type="checkbox"/> Enable remote HTTPS access on port	443
<input type="checkbox"/> Enable remote FTP access on port	21
<input type="checkbox"/> Enable remote SSH access on port	22
<input type="checkbox"/> Enable remote Telnet access on port	23
<input type="checkbox"/> Enable remote SNMP access on port	161
<input type="checkbox"/> Send all remaining incoming packets to default server	
Default Server IP Address	
<input checked="" type="checkbox"/> Masquerade outgoing packets	
Apply	

Obr. 4.4: Tabulka nastavení NAT na routeru

## 4.1.3 OpenVPN

Zabezpečené připojení probíhá využitím protokolu síťového tunelování, ke které využiji aplikaci OpenVPN. Router tvoří OpenVPN server vůči počítači tvořícím OpenVPN klienta. Router byl nastaven dle následujícího obrázku.

Tunelování funguje na principu zapouzdření packetů pomocí šifrovacího klíče. Pro správnou funkci musí mít klient i server odpovídající certifikát a klíč.

Vytvořil jsem certifikát a privátní klíč pro server (router) a dva pro klienty. Klienti jsou můj firemní počítač a počítač mého kolegy Petra Augustína. Pro jakýkoliv další

## 4.2 SoMachine

Ukázkový program lze logicky rozdělit na dvě části:

- Pohybová sekvence se spouští pouze pokud oba měniče hlásí stav READY. Bě-

General	<input checked="" type="checkbox"/> Create 1st OpenVPN tunnel
Mobile WAN	Description * SE OPENVPN
Network	Protocol UDP
IPsec	UDP Port 1194
DynDNS	Remote IP Address *
System Log	
Configuration	
LAN	Remote Subnet * 192.168.3.0
VRRP	Remote Subnet Mask * 255.255.255.0
Mobile WAN	Redirect Gateway No
PPPOE	Local Interface IP Address 10.168.1.1
Backup Routes	Remote Interface IP Address 10.168.1.2
Static Routes	
Firewall	Remote IPv6 Subnet *
NAT	Remote IPv6 Subnet Prefix Length *
OpenVPN	Local Interface IPv6 Address *
• 1st Tunnel	Remote Interface IPv6 Address *
• 2nd Tunnel	
• 3rd Tunnel	
• 4th Tunnel	
IPsec	Ping Interval * 10 sec
GRE	Ping Timeout * 30 sec
L2TP	Renegotiate Interval * 5 sec
VPN	Max Fragment Size * 1500 bytes
Services	Compression LZO
Expansion Port 1	NAT Rules not applied
Expansion Port 2	
Scripts	
Automatic Update	
Customization	
User Modules	
Administration	
Users	
Change Profile	
Change Password	
Set Real Time Clock	
Set SMS Service Center	
Unlink SIM Card	
Unlink SIM Card	
Send SMS	
Backup Configuration	
Restore Configuration	
Update Firmware	
Reboot	
Logout	
	Authenticate Mode X.509 cert. (server)
	Pre-shared Secret
CA Certificate	<pre>-----BEGIN CERTIFICATE----- MIIG1jCBELBgAwIBAgIJAK7XlE1NgnANMAOCGSGStb3QFEBSQOMAMjQwMCQYD VQGEwJWJwEOMXIBUjEUMCQWpl12g2ntVndWkIseWkxDTALBgNVBAcTBEljYm9x GAZBZG9hY2EiIjEgaS1aNRic1BlbnVjZD9pIjEERGAAGAUECN1SW9kXG9kcmkx -----</pre>
DH Parameters	<pre>-----BEGIN DH PARAMETERS----- MIIBCARQAAQAvdaBgY5sf6g7vttcnFYF0V7t0t08R3k/cv1-yj6A6j1/d70 122h0Vppgl1Ywds9SPB1Yds6gdt1Y1cqa1Ld8hTgTJumJusgGF7sy FlFXFKY7w1c1yctv/cx0dGg/1v16UDw8DfDZ/t5t56gUcNBR1a2McPXZ4oBM -----</pre>
Local Certificate	<pre>-----BEGIN CERTIFICATE----- MIIG1jCBELBgAwIBAgIJAK7XlE1NgnANMAOCGSGStb3QFEBSQOMAMjQwMCQYD VQGEwJWJwEOMXIBUjEUMCQWpl12g2ntVndWkIseWkxDTALBgNVBAcTBEljYm9x GAZBZG9hY2EiIjEgaS1aNRic1BlbnVjZD9pIjEERGAAGAUECN1SW9kXG9kcmkx -----</pre>
Local Private Key	<pre>-----BEGIN RSA PRIVATE KEY----- MIIBKQAAQAAJAEAAc97/YHlAde5H47bWkH9X16G6c0Lldgvc0Lldgvc0Lldgvc0 h3ac0Lldgvc0Lldgvc0h3ac0Lldgvc0Lldgvc0Lldgvc0Lldgvc0Lldgvc0Lldgvc0 PjTxnshu4bC7AK7wqBUFRy7d8Vc9j4kFRF1aQnTubhP7Seq6mR2/M9wz39b73K -----</pre>

Obr. 4.5: Nastavení OpenVPN

hem sekvence se oba motory otáčejí, střídají směr i rychlost. Sekvence trvá krátce přes minutu.

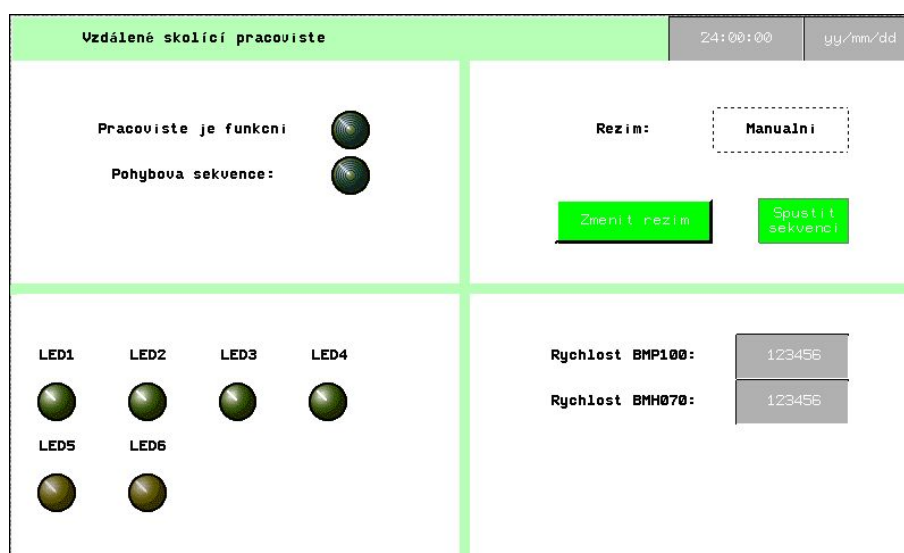
### 4.2.1 Vizualizace

Vizualizace se spouští automaticky se zapnutím pracoviště. Vizualizace je strohá a s minimem interaktivních prvků, jelikož uživatel připojený vzdáleně nemá možnost interakce s panelem. Zároveň vizualizace musí být čitelná skrze obraz webkamery z dálky 60cm.

Vizualizaci tvoří dvě obrazovky:

- Uvítací obrazovka
- Hlavní informační obrazovka

Hlavní obrazovka je rozdělena do čtyř kvadrantů. Zobrazuje aktuální stav pracoviště, rychlost motorů a stav signálních LED. Interaktivní část umožní přepnout mezi manuálním a automatickým spouštěním pohybové sekvence.



Obr. 4.6: Hlavní panel vizualizace

## 4.3 Nastavení frekvenčního měniče a servo měniče

Předtím než začneme ovládat motory je zapotřebí nastavit jejich řídicí prvky. SoMove je software firmy Schneider Electric k nastavení řídicích prvků motorů. V našem případě poslouží k nastavení frekvenčního měniče Altivar 320 a servoměniče Leximu 32M. SoMove je k dispozici samostatně nebo integrovaně v rámci SoMachine.

### 4.3.1 Servoměnič Lexium 32

V případě servoměniče LXM 32 je situace jednoduchá. SoMove automaticky rozezná připojený motor BMH070 a nastaví provozní parametry. Stačilo se pouze připojit, ověřit hodnoty a už se mohlo testovat. SoMove dovoluje převzít kontrolu a přímo řídit motor. Tato funkce je vhodná pro přímé testování.

Device	Reference	Serial number	FW number	FW version	Vendor name
Drive	LXM32AD18M2	1924002125	P0911.00	V01.04.04	Schneider Electric
Motor	BMH0701Tx7Axx	2800604860	BMH	SinCos With HiFa	

Voltage

1~ 230V

Nominal velocity

5000 rpm

Nominal torque

135 Ncm

Maximum velocity

8000 rpm

Nominal output power

0.686 kW

Holding brake available

No

Encoder

SinCos with Hiperface: SEL 16 lines multi turn

Interface

CANopen, CANmotion, Modbus RTU

V1.18.0.7

Obr. 4.7: Nastavení SoMove pro LXM32

### 4.3.2 Frekvenční měnič Altivar 320

V případě frekvenčního měniče Altivar bylo nutné ručně vypsát štítek motoru BMP100 do SoMove. Až poté bylo možné bezpečně spustit motor. Správné hodnoty jsem hledal v manuálu pro motory BMP [23]. Množství parametrů, které lze nastavit je obrovské, v tabulce 4.2 vypíšu parametry jež jsem změnil a jsou nutné pro spuštění motoru BMP pomocí ATV320.

Ačkoli je možné nastavit jednoduchou řídicí logiku do frekvenčního měniče Altivar, pro náš případ to nemá využití a měnič bude ovládán čistě z logicky nadřazenějšího prvku - PLC.

Zkratka	Parametr	Nová hodnota
TFR	Max. output frequency	300 Hz
CTT	Motor control type	Sync. motor
SFR	Drive switching freq	12 KHz
BOO	Boost	70 %
FAB	Action boost	60 Hz
NCRS	Nominal sync current	3,7 A
PPNS	Pole pairs number (sync)	5
NSPS	Nominal sync motor speed	3000 rpm
TQS	Motor torque	2,4 Nm
RSAS	Cust. stator resist. (sync)	1280 mOhm
LDS	Sync motor d inductance	3.54 mH
LQS	Sync motor q inductance	4.08 mH
PHS	Sync. EMF constant	44.5 mV/rpm

Tab. 4.2: Seznam změn v nastavení ATV320

## 4.4 EcoStruxure Machine advisor

Ecostruxure Machine Advisor (EMA) je služba pro datalogging, sběr a zálohování dat na cloudovém úložišti. Data jsou shromažďována na cloudové platformě Microsoft Azure pronajaté firmou Schneider Electric. V routeru je program, který získává data z PLC.

### 4.4.1 Machine advisor

V prvním kroku je třeba nastavit webovou aplikaci. Přístup k webovému rozhraní je na URL: <https://machine-advisor.schneider-electric.com/>. Po přihlášení jsem registroval cílený stroj.

Při registraci stroje se nastavuje název stroje, jeho poloha a přístupové práva. Přístupové práva jsou ve dvou úrovních:

- OEM - Plný přístup. Určuje, které prvky může Customer měnit.
- Customer - Mírně omezený přístup. Nemůže upravovat architekturu stroje a nemůže měnit zablokované dashbordy.

Kolega Petr Augustín představuje zákazníka připojujícího se ke stroji. Do kolonek OEM i Customer lze přidat neomezené množství uživatelů. Postupně tam budou přidáni všichni technici SE jenž mají na EMA na starosti.

Po přihlášení na stroj VSP je nutné zvolit způsob přijímání dat. Zvolil jsem HTTP POST. V kolonce Config získáme údaje kam posílat data. Pod položkou

Název:	Vzdálené školící pracoviště
Poloha:	Česká Republika, Brno
OEM:	Tomáš Kučera
Customer:	Petr Augustín

Tab. 4.3: Registrace stroje VSP do Machine Advisor

"Generated Config" jsou položky které jsou nutné, jsou celkem 4:

- Mode
- Custom header 1
- Custom header 2
- Server

Na webu MA si lze prohlédnout data získaná během provozu. Ukázka přímo z VSP na obr. 4.8.

#### 4.4.2 NodeRED

NodeRED je programovatelné prostředí na bázi javascriptu vhodné pro úpravu dat, které bylo na router nutné dodatečně instalovat v podobě User Modulu. K použití NodeREDu se stačí pomocí webového prohlížeče připojit na cílové zařízení (router) a použít port 1880. V našem případě zadáme do prohlížeče 192.168.1.1:1880. Přihlášení k NodeRED na routeru je zabezpečeno skrze přihlašovací jméno a heslo.

Takto vytvořený program se skládá ze tří "větví" a jeho schéma je na obr 4.10. Kopie kódu je elektronické podobě na příloženém CD-ROM (příloha A Všechny slouží k zasílání dat a principiálně fungují stejně, liší se pouze drobnými detaily. Proto podrobně popíši pouze první větev.

První větev získává data z generátoru náhodných čísel a zasílá je na cloud. Perioda odesílání je 4s. Jednotlivé bloky první větve:

- Read modbus TCP - příkaz na modbus TCP server (PLC) s žádostí o 4 hodnoty z registrů MW10 až MW13
- "Rename"- skriptový blok, přijímá přijaté data a přidává jim jmenovku která bude vidět na webu EMA
- "Charlie Formatter"- skriptový blok, upravuje data do formátu charlie (viz 1.5)
- "Request header"- skriptový blok, přidává k datovému balíčku hlavičku, kterou jsme získali z webu EMA viz obr. 4.9
- HTTP Request - blok zasílá upravená data v adresu serveru, kterou jsme získali z webu EMA viz obr. 4.9

Druhá větev programu zasílá data z motoru, která data jsou z adresy paměti MW20 až MW26 s periodou 1s. První tři paměťové registry obsahují signál, zda



MONITOR									
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi00	11/05/2019 16:54:51 1806 [1806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi01	11/05/2019 16:54:51 2806 [2806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi02	11/05/2019 16:54:51 3806 [3806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi03	11/05/2019 16:54:51 4806 [4806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi04	11/05/2019 16:54:51 5806 [5806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi05	11/05/2019 16:54:51 6806 [6806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi06	11/05/2019 16:54:51 7806 [7806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi07	11/05/2019 16:54:51 8806 [8806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi08	11/05/2019 16:54:51 9806 [9806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi09	11/05/2019 16:54:51 10806 [10806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi10	11/05/2019 16:54:51 1806 [1806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi11	11/05/2019 16:54:51 2806 [2806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi12	11/05/2019 16:54:51 3806 [3806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi13	11/05/2019 16:54:51 4806 [4806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi14	11/05/2019 16:54:51 5806 [5806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi15	11/05/2019 16:54:51 6806 [6806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi16	11/05/2019 16:54:51 7806 [7806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	
<input type="checkbox"/>	Set Label	VSP_PLCi17	11/05/2019 16:54:51 8806 [8806]	Set Unit	####	Set Factor	Add Associated Strings	Add Warning	

Obr. 4.8: Získaná data z PLC

je pohybová sekvence spuštěna a časovou značku z PLC. Zasílá se aktuální rychlost obou motorů. Data jsou zasílána pouze pokud je na PLC spuštěná pohybová sekvence a motory jsou v provozu.

Třetí větev programu zasílá 40 hodnot z adres MW30 až MW69 s periodou odesílání 1s. Zasílají se strojově generována data.

Většina dat zasílaných z PLC jsou ilustračního rázu a ukazují jen málo o provozu pracoviště. To je dané faktem, že na pracovišti neprobíhá žádný technologický proces, který by bylo vhodné sledovat. Přesto zaslané data stačí k ověření funkčnosti a prezentaci možností služby Ecostruxure Machine Advisor.

## MONITOR CONFIGURATION

> Mode

Sample data

Connect your machine

> Gateway

Custom

Titan

Hilscher

Eurotech

M262

> Format

Tango

Charlie

> TRANSPORT

HTTPs

MQTTs

> Generated Config

MODE:

HTTPS POST (JSON)

Copy

CUSTOM HEADER 1:

Content-Type;application/json

Copy

CUSTOM HEADER 2:

.....

Copy

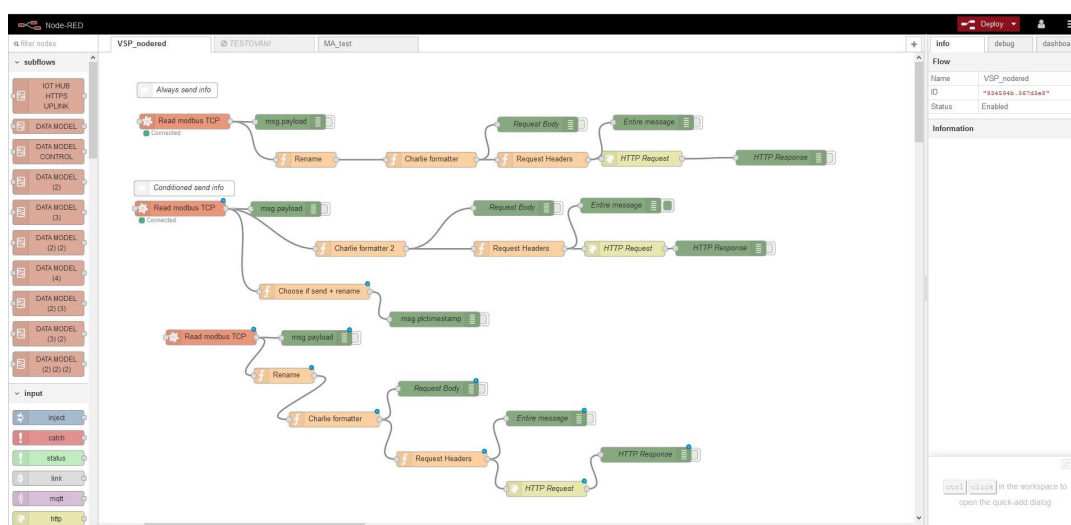
Renew for 1 year

SERVER:

https://cnm-ih-na.azure-devices.net/devi

Copy

Obr. 4.9: Stránka Config na webu EMA, obsahuje formátovací a adresovací data



Obr. 4.10: Výsledný program v NodeREDu

## 4.5 EcoStruxure Augmented Operator Advisor

Služba EcoStruxure Augmented Operator Advisor se nejlépe ukazuje, pokud uživatel stojí s tabletem u stroje a kamerou míří na stroj. Potom vidí vzniklou interaktivní rozšířenou realitu a dodatečné informace poskytnuté skrze tablet.

Přes záznam webkamery je též možné ukázat princip EAOA. Rozpoznávání scén pracuje na základě porovnání s již před připravenými fotkami. Stačí napířit kameru tabletu na obrázek stroje a aplikace jej rozezná jako originál a zobrazí informace.

Program EAOA jsem vytvořil v EAOA Builderu. Program pro stroj je tvořený ze série scén, které chceme zobrazit. Každá scéna představuje jeden pohled na stroj. Pro tvorbu jedné scény můžeme použít více fotek stejného místa ideálně z mírně jiného úhlu a při jiném osvětlení. Zvýšíme tím rozlišovací schopnosti aplikace.

Moje aplikace VSP se skládá pouze z jedné scény a to přední pohled na celé

pracoviště. Pro navýšení přesnosti rozeznávání použijí několik fotek. Přesto nejde zaručit stoprocentní úspěšnost s rozpoznáním scény jakmile se pracoviště přesune a změní se světelné podmínky. Navíc jakmile budou doinstalovány držáky bude zapotřebí aktualizovat fotky, protože se změní vzhled pracoviště. Na scénu se umísťují Point Of Interest (POI), které zahrnují prvky jako text, proměnné, hypertextový odkaz a další.

Hlavní scéna VSP obsahuje tyto prvky (POI):

- Název pracoviště
- Ukazatel rychlosti pro oba motory.
- Skládací seznam s odkazy na web Schneider Electric, na web Machine Advisor
- Varování chyby motoru
- Subscéna: detail PLC

Vytvořený projekt je nahraný na HMI, kde je instalovaný Runtime nutný k jeho spuštění.

Aplikaci využijí tak, že se připojím tabletem na panel a namírím jeho kameru na pracoviště.

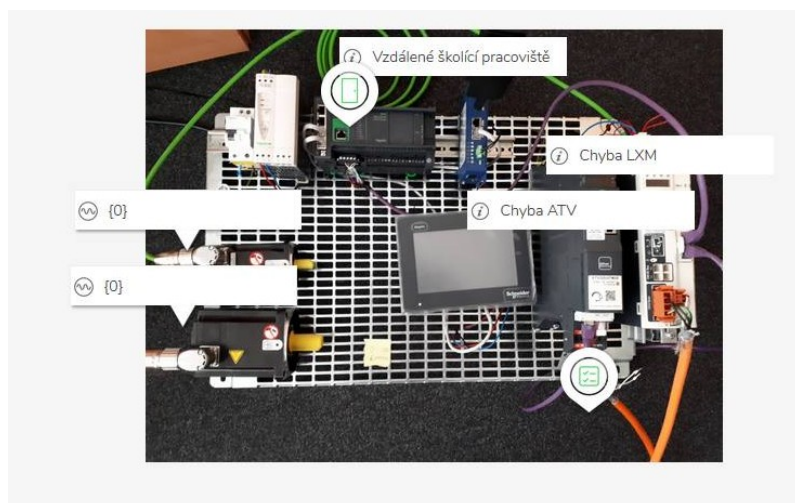
Implementace EAOA má v aktuálním provedení nedostatky, pramenící z absence všech mechanických dílů. Algoritmus rozpoznávání scén využívá porovnání snímaného obrazu s databází nahraných fotek. Jakmile se doplní chybějící komponenty, změní se vzhled pracoviště a to způsobí komplikace pro rozpoznávací algoritmus. Ke stejnému zhoršení dojde při zavěšení pracoviště na jeho cílenou pozici, kdy se změní vzhled pozadí, avšak tato změna nebude mít tak výrazný dopad.

Řešením nedostatků znovu nafotit pracoviště po jeho zavěšení na určené místo do pražské kanceláře a následně nahrát nové fotky do programu EAOA. Tento proces je časově nenáročný. Není nutno vytvářet program EAOA od začátku, ale pouze se upraví jeho část.

## 4.6 Webkamera

Pro zpětnou vazbu uživatele z pracoviště použijí web kameru a její výstup budu streamovat z HMI.

Webcamera je připojena k HMI pomocí USB. Na HMI je instalovaná aplikace Yawcam (zkratka pro *Yet Another WebCAM software*), která spravuje kameru a vytváří streamovací server. Aplikaci Yawcam jsem vybral pro její jednoduchost, nenáročnost a v základu integrovanou vlastnost vytvořit streamovací server. Stream je vytvořen na portu 8081. Aplikace Yawcam se na HMI spouští automaticky se spuštěním a zároveň se spustí i streamovací server. K připojení ke streamu je zapotřebí



Obr. 4.11: Hlavní scéna VSP z EAOA Builderu

zadat do prohlížeče adresu HMI s portem 8081, v případě počítačů připojených na síť pracoviště to je <192.168.3.5:8081>.



Obr. 4.12: Ukázka streamovacího rozhraní aplikace Yawcam

Na obrázku 4.12 je viděl vzhled streamovacího rozhraní.

Protože chybí držák na kameru, není možné nasměrovat webkameru na pracoviště a není poskytnut náhled kamery snímající celé pracoviště. I přesto byla aplikace vyzkoušena včetně streamovací funkce a podařilo se připojit k serveru.

Při testování se objevili komplikace se streamem. V některých případech je vysílání velmi pomalé. Počítače externě připojené na stream přijímají obraz který je trhaný a se zpožděním ~1-2 vteřiny. Přijímaný obraz tak není plynulý. Důvod tohoto

počinání se nepodařilo povrdit, ale mám podezření, že na vině je buď nízký výpočetní výkon HMI nebo nízká rychlost ethernetového připojení. Na řešení se stále pracuje.

## 5 Zhodnocení prototypu

V této kapitole zhodnotím funkce vytvořeného prototypu a popíši aktuální stav.

Školící pracoviště sestává z rámu, na který jsou připevněny všechny komponenty. Nyní je pracoviště umístěno na brněnské pobočce firmy SE, ale v konečné fázi bude samotný rám zavěšený na zdi na pražské pobočce.

Nyní z fyzického hlediska chybí na sestavě kamera a signální LED a to z důvodu absence držáků. Držáky nebyli doposud vyrobeny, protože byli pozdě objednáni. Tento nedostatek ovlivnil několik navazujících funkcí VSP a neumožnil plné otestování všech prvků.

Přístup k VSP byl vytvořen skrze OPENvpn protokol. Aktuálně je zařízení pro 2 klienty, můj firemní počítač a počítač Petra Augustína. Další klienti se přidají instalací nových certifikátů a klíčů.

Do pracoviště je integrovaná podpora služby EcoStruxure Machine Advisor. V routeru se nachází NodeRED aplikace, která získává přibližně 50 hodnot z PLC a zasílá je na cloud. Data jsou převážně ilustračního charakteru a ukazují schopnosti služby EMA. Množství zasílaných dat ovlivňuje kvalita routeru. Nepodařilo se najít limit možností routeru ICR-3231 a ještě stále zbývá prostor pro zasílání většího množství dat v jeden okamžik.

Na HMI je instalovaný EAOA Runtime s připravenou aplikací. Aplikace je připravena pro použití s tabletem a tvoří ji hlavní scéna, která zachycuje přední stranu nosné konstrukce s komponenty. Aplikace EAOA je náchylná na změny obrazu v důsledku přesouvání pracoviště a změn osvětlení. Obě mění vzhled pracoviště a matou rozpoznávací algoritmus. Až budou přidány chybějící držáky bude nutné pracoviště znovu nafotit a aktualizovat program EAOA s novými fotkami.

Vzorový program pro SoMachine je součástí sestavy a byl otestován. Plní dvě funkce: Za prvé řídí motory v krátké pohybové sekvenci a za druhé poskytuje data pro EMA. Součástí vzorového programu je i jednoduchá vizualizace ukazující aktuální stav VSP, s tím že byl kladen důraz aby byla čitelná i z webkamery.

Webkamera je připojena k HMI, kde je vytvořen streavovací server. Uživatelé připojení k VSP mohou přistoupit na server a sledovat záběr kamery. Bez držáku však nelze nasměrovat kameru na pracoviště a proto není poskytnuta žádaná zpětná vazba. Snímací schopnosti kamery byly otestovány i se záběrem na pracoviště a v tomto případě byla kamera držena v ruce. Toto řešení v žádném případě nelze aplikovat pro finální produkt.

Sestava školícího pracoviště obsahuje několik nedostatků způsobených absencí držáků. Dokud nebudou držáky vyrobeny nelze opravit nedostatky na ostatních

elementech pracoviště. Proto hned jak to bude možné budou držáky doinstalovány a nedostatky napraveny.s

## 6 Závěr

Diplomová práce popisuje návrh, sestavení a otestování vzdáleného školícího pracoviště. Pracoviště představuje generický průmyslový stroj obsahující řídicí jednotku, operátorský panel, frekvenční měnič a servo měnič. Dále obsahuje síťovou infrastrukturu pro umožnění zabezpečené ethernetové připojení spolu s kamerou pro vysílání obrazu sestavy. Součástí pracoviště je integrace služeb EcoStruxure Machine Advisor a EcoStruxure Augmented Operator Advisor. Práce byla vytvořena na základě zadání a financování od firmy Schneider Electric CZ, s.r.o..

Prvním krokem práce bylo seznámení se s využitými komponentami, službami architektury EcoStruxure, s možnostmi vzdáleného připojení a sdílení obrazu kamery přes internet.

Na základě seznámení byl vytvořen seznam komponent a návrh pracoviště. Primárně bylo využito produktů firmy Schneider Electric, ze kterých se vybíraly produkty hojně zastoupené mezi zákazníky. Vybrané komponenty jsou PLC řady Modicon M241, operátorský panel Magelis G5U s integrovaným OS Windows 7, frekvenční měnič Altivar 320, servo měnič Lexium 32, odpovídající synchronní motor BMP070 a asynchronní motor s permanentními magnety BMH100, IOT router a gateway ICR-3231 a webkamera Logitech C920. Součástí práce je návrh nosné konstrukce z hliníkové mříže a upevnění komponent, včetně speciálních držáků, které byly zadány do výroby.

V rámci práce se podařilo sestavit pracoviště s jistými nedostatky, které vznikly absencí speciálních držáků pro motory, op. panel, kameru a signální LED. Důvodem nepřítomnosti držáků je pozdní zadání do výroby. V důsledku toho nebylo možné ve finální podobě otestovat webkameru v součinnosti se službou EAOA a VSP neodpovídá plně návrhu. Motory a panel se podařilo provizorně namontovat na konstrukci. Webkameru a LED nebylo možné bez úchytků prakticky namontovat. Zbylé komponenty jsou namontovány a díky tomu je pracoviště převážně funkční.

Součástí práce je konfigurace routeru pro zabezpečené připojení a pro součinnost se službou EMA. Dále práce obsahuje nastavení frekvenčního měniče a servo měniče v SoMove, popis vzorového programu na PLC v SoMachine včetně vizualizace a tvorbu streamu webkamery.

Většinu zadaných funkcí a požadavků na pracoviště se podařilo splnit. Pracoviště imituje generický stroj a může sloužit ke tvorbě jednoduchých aplikací. Vzdálený přístup k pracovišti je zajištěn tunelovacím protokolem OpenVPN. Po doplnění chybějícího držáku je možné sledovat všechny prvky sestavy pomocí webkamery a streamovacího serveru. S pracovištěm byla úspěšně propojena služba EcoStruxure Machine Advisor a tím jsou provozní data ukládána na cloudovou platformu. Na operátorském panelu funguje Runtime pro službu EcoStruxure Augmented Operator



Advisor a prezentuje její možnosti při údržbě.

Nedostatky v realizaci pracoviště jsou způsobené hlavně absencí držáků. Jejich dokončení a instalace je nutná pro plnou funkčnost pracoviště. Taky se nezdařilo objevit problém pomalého streamu webkamery.

Je zapotřebí tyto nedostatky v budoucnu opravit. Mimo nich se jako další pokračování diplomové práce nabízí aktualizace využitých komponent aby věrohodně představovali nabídku firmy Schneider Electric. Jako příklad uvedu náhradu aktuální řídicí jednotky M241 za novou řadu M262, která budou uvedena na český trh během roku 2019.

# Literatura

- [1] ZEZULKA, František. *Prostředky průmyslové automatizace*. Brno: VUTUM, 2004, 176 s. ISBN 80-214-2610-1
- [2] Interní firemní literatura SE
- [3] SCHNEIDER ELECTRIC CZ s.r.o.: *Technický list - TM241CEC24T* [online]. Technický list [cit. 12. 11. 2018]. Ke stažení z URL: <https://www.schneider-electric.cz/cs/product/download-pdf/TM241CEC24T>.
- [4] SCHNEIDER ELECTRIC CZ s.r.o., Oficiální české internetové stránky, sekce produkty *schneider-electric.cz* [online]. [cit. 12. 11. 2018]. Dostupné z URL: <https://www.schneider-electric.cz/cs/all-products#/1>.
- [5] EWON, Products Flexy 205 *www.ewon.biz* [online]. [cit. 12. 12. 2018]. Dostupné z URL: <https://www.ewon.biz/products/ewon-flexy/flexy-205>.
- [6] EWON, Flexy 205 *Datasheet Flexy 205 IIOT gateway and remote access router* [online]. [cit. 11. 12. 2018]. Ke stažení z URL: [https://www.ewon.biz/docs/librariesprovider10/ewon-english/datasheets/datasheet-flexy-205.pdf?sfvrsn=b9eb90d6\\_4](https://www.ewon.biz/docs/librariesprovider10/ewon-english/datasheets/datasheet-flexy-205.pdf?sfvrsn=b9eb90d6_4).
- [7] Eshop FOXON, *eshop.foxon.cz* [online]. [cit. 18. 12. 2018]. Ke stažení z URL: <https://eshop.foxon.cz/cs/44353-ewon-flexy-205-prumyslovy-modularni-modem.html>.
- [8] D-Link Corporation/D-Link Systems, Inc. *Wi-Findings* [online]. [cit. 18. 12. 2018]. Dostupné z URL: <http://blog.dlink.com/ip-cameras-vs-webcams/>.
- [9] TOPIPCAMERAS.COM *The Ultimate Guide To IP Cameras* [online]. [cit. 18. 12. 2018]. Dostupné z URL: <https://topipcameras.com/ip-camera-guide/>.
- [10] HOFFMAN CH. *What's the Difference Between a Modem and a Router?*, HowToGeek.com [online]. [cit. 7. 12. 2018]. Dostupné z URL: <https://www.howtogeek.com/234233/whats-the-difference-between-a-modem-and-a>
- [11] DIGI International *Modems, Routers, Gateways: What's the Difference?*, Digi.com [online]. [cit. 18. 12. 2018]. Dostupné z URL: <https://www.digi.com/videos/modems-routers-gateways-whats-the-difference>.

- [12] PLC-AUTOMATIZACE. *PLC - Programovatelný logický automat*, plc-automatizace [online]. [cit. 4. 3. 2019]. Dostupné z URL:  
<<http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>>.
- [13] WIKIPEDIA. Router (computing). *Wikipedia.org* [online]. [cit. 3. 5. 2019]. Dostupné z URL:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Router\\_\(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Router_(computing))>.
- [14] KUČERA T. *Technická zpráva k prvkům EcoStruxure* [online]. Brno: Schneider Electric CZ s.r.o., verze 12 [cit. 20. 4. 2019]. Pozn.: Interní firemní dokumentace
- [15] COPE K. *What is HMI: Learn Some of the Basics of an HMI or Human Machine Interface* [online]. realpars.com: publikováno 9.5. 2018, [cit. 25. 4. 2019] Dostupné z URL:  
<<https://realpars.com/what-is-hmi/>>.
- [16] Vaidyanath Nanjundaiah, Human Machine Interface and its Importance in Industrial Automation. *EZAutomation.net: Innovative Low Cost Automation products made in America* [online]. [cit. 20. 4. 2019] Dostupné z URL:  
<<https://www.ezautomation.net/industry-articles/hmi-interface.htm>>.
- [17] More Touch Panels Added to HMI Line. *www.automationworld.com* [online]. [cit. 20. 4. 2019] Dostupné z URL:  
<<https://www.automationworld.com/article/technologies/hmi-hardware/more-touch-panels-added-hmi-line>>.
- [18] WIKIPEDIA, Adjustable speed drive. *Wikipedia.org* [online]. [cit. 20. 4. 2019]. Dostupné z URL:  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Adjustable-speed\\_drive](https://en.wikipedia.org/wiki/Adjustable-speed_drive)>.
- [19] AUTOMATION, 10 Benefits Adjustable-Speed AC Drives Provide to Industrial Users, *Automation.com* [online]. [cit. 20. 4. 2019]. Dostupné z URL:  
<<https://www.automation.com/library/articles-white-papers/motor-drives-control/10-benefits-adjustable-speed-ac-drives-provide-to-indus>>.
- [20] CSANYI Edvard, Three applications where variable speed drive really rocks!. *Electrical Engineering Portal* [online]. cit. 20. 4. 2019]. Dostupné z URL:  
<<https://electrical-engineering-portal.com/variable-speed-drive-applications>>.
- [21] CAVALHEIRO Fabio, *Altivar Machine* [online]. [cit. 12. 3. 2019]. Pozn.: Interní firemní dokumentace

- [22] Portál Schneider Electric, *SE.com* [online]. Dostupné z URL:  
<<https://www.se.com/cz/cs/>>.
- [23] Schneider Electric, *BMP Synchronous motor Motor manual* [online]. Verze V1.3, vydáno 01.2017 [cit .2.3.2019]. Ke stažení z URL:  
<<https://www.schneider-electric.com/en/download/document/0198441113981-EN/>>.
- [24] Schneider Electric, *Machine Advisor web page* [online]. [cit .22.5.2019]. Dostupné z URL:  
<<https://machine-advisor.schneider-electric.com/monitor/>>.
- [25] NodeRED, *Nodered.org* [online]. [cit .2.4.2019] Dostupné z URL:  
<<https://nodered.org/>>.
- [26] Schneider Electric, *Product datasheet: HMIDT351* [online]. [cit .2.4.2019] Dostupné z URL:  
<<https://www.schneider-electric.us/en/product/HMIDT351/7w-touch-advanced-display-wvga/>>.
- [27] Advantech, *Product datasheet: HMIDT351* [online]. [cit .3.2.2019] Dostupné z URL:  
<<https://ep.advantech-bb.cz/support/router-models/detail/icr-3231>>.

## Seznam symbolů, veličin a zkratek

<b>PLC</b>	Programovatelný Logický Automat - Programmable Logic Controller
<b>SE</b>	Schneider Electric CZ s.r.o.
<b>VŠP</b>	Vzdálené školící pracoviště
<b>IOT</b>	Internet of things - internet věcí
<b>PAE</b>	Product Application Engineer
<b>MA</b>	Machine Advisor
<b>AOA</b>	Augmented Operator Advisor
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer
<b>FoV</b>	Field of view - Zorné pole
<b>AR</b>	Augmented reality - Rozšířená realita
<b>VPN</b>	Virtual private network - Virtuální soukromá síť
<b>NAT</b>	Network address translation

# Seznam příloh

A	CD-ROM	58
B	Schémata pro držáky	59
C	Schéma rozložení komponent na mříž	62
D	Schéma zapojení elektroinstalace	63

# A CD-ROM

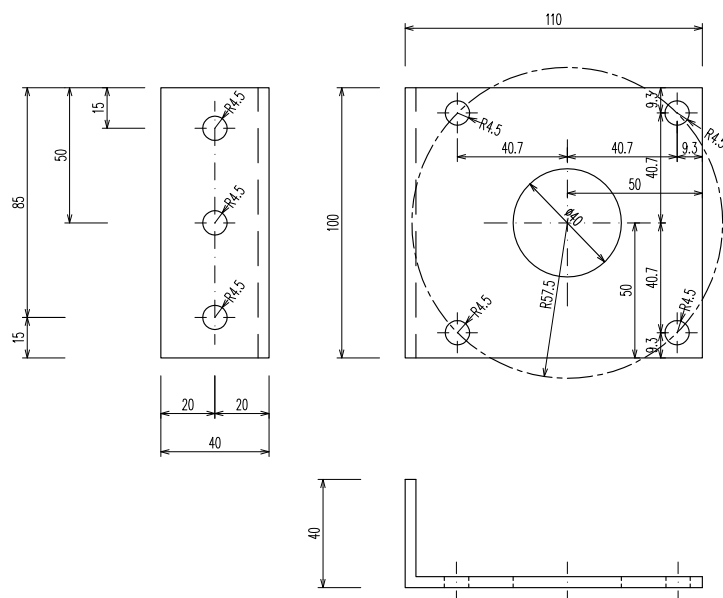
Obsah přiloženého CD-ROM:

- Elektronická verze této diplomové práce
- Schémata pro držáky
- Schéma rozložení komponent na mříž
- Schéma zapojení elektroinstalace
- Zdrojové kody:
  - Program v SoMachine
  - Konfigurace ATV320 v SoMove
  - Konfigurace LXM32 v SoMove
  - Export kódu NodeRED
  - Export EAOA programu pro runtime

## B Schémata pro držáky

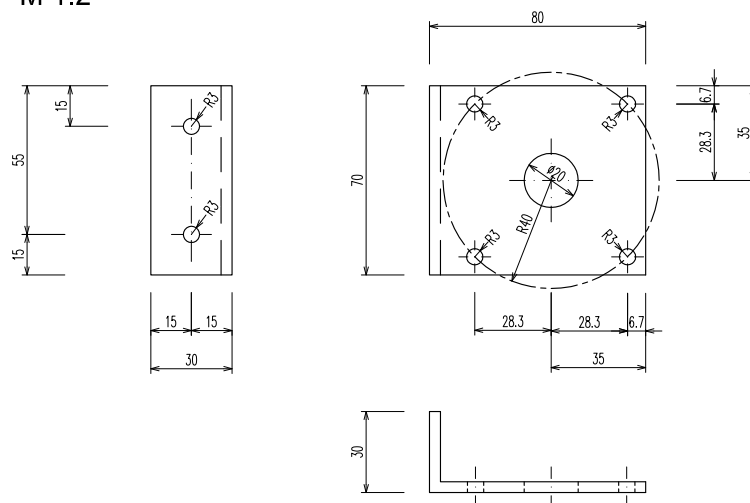
DRŽÁK PRO BHP100

M 1:2



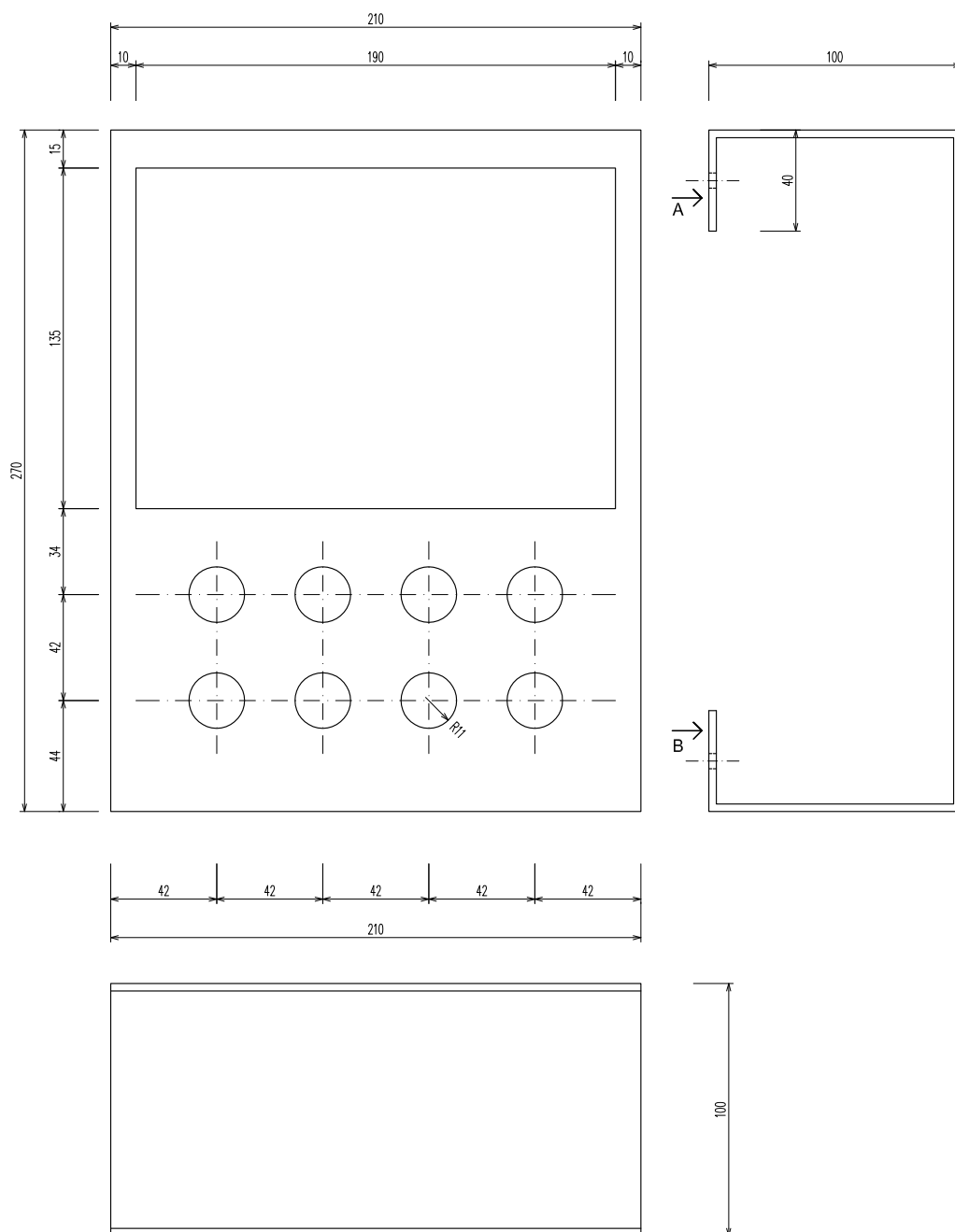
DRŽÁK PRO BMH070

M 1:2

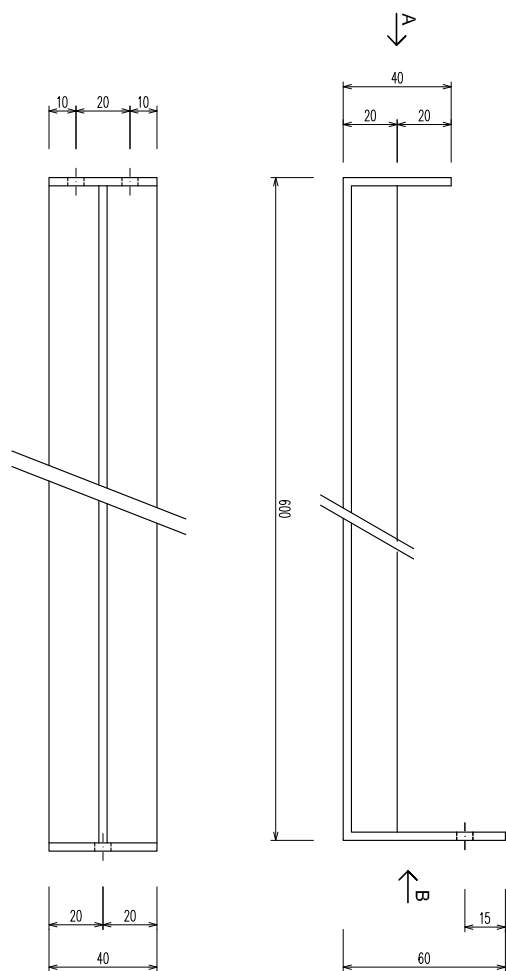




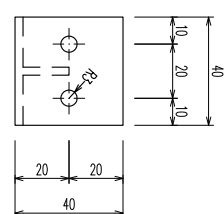
DRŽÁK PRO HMIDT351  
M 1:2



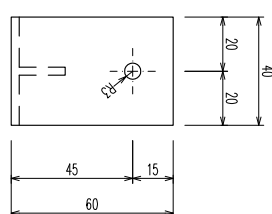
# DRŽÁK NA KAMERU M 1:2



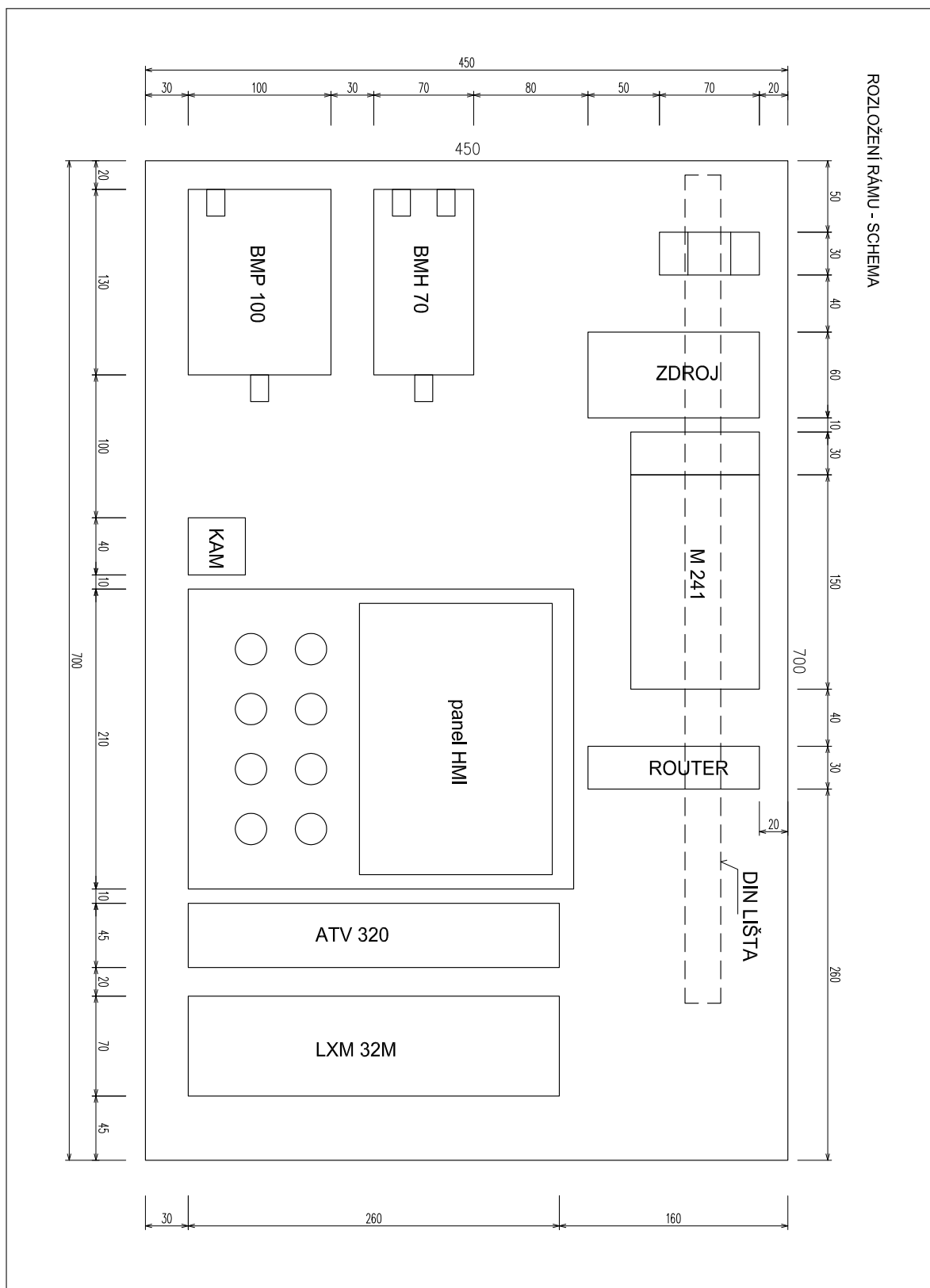
DETAIL A



DETAIL B



## C Schéma rozložení komponent na mříž



## D Schéma zapojení elektroinstalace

